



FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y
EMPRESARIALES

GRADO EN ECONOMÍA
TRABAJO FINAL DE GRADO

**FUENTES DEL CRECIMIENTO ECONÓMICO DE CHINA: EL
IMPACTO DE SU INSERCIÓN EN LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL
DEL COMERCIO**

*INCORPORANDO LA COMPLEJIDAD ECONÓMICA AL MODELO
NEOCLÁSICO DE SOLOW-SWAN*

Por:

Pablo Manuel Herrador Sánchez de Murga

Tutor:

Jorge Díaz-Lanchas

Sevilla, junio de 2020

Agradecimientos

Este trabajo ha supuesto un punto final al mismo tiempo que un nuevo comienzo. Una pequeña cima que, al alcanzarla, permite ver la siguiente aún más alta.

Un proyecto que no habría sido posible sin Jorge Díaz-Lanchas. A pesar de estos momentos de grandes dificultades, su dedicación y excelente competencia, la capacidad de marcarme el camino y la confianza depositada tanto en el trabajo como en mí, han permitido un desarrollo a nivel personal y académico. Por encima de cualquier expectativa, ha hecho tangible una idea que, alojada en mi cabeza, no sabía cómo expresar.

Actualmente, no podría dejar de mencionar a una persona que me ha acompañado, apoyado y escuchado durante tantos años. A tí *Manolo*, que has estado en cada paso que he dado.

De la misma forma, nada de lo que he logrado hasta ahora habría sido posible sin mi padre, mi madre y mi hermana. Gracias por vuestro cariño incondicional y disciplina que guían cada decisión que tomo.

Ana, gracias por tanto, por regalarme el presente, por no dejar que me derrumbe y por hacer que me aproxime a la que considero la mejor versión de mí mismo.

RESUMEN

El presente trabajo fin de grado analiza el crecimiento de la economía de China en el periodo comprendido entre 1995 y 2017, con el objetivo de analizar qué factores propiciaron el crecimiento económico tras la entrada de China en la Organización Mundial del Comercio. Para ello recurre a la línea de investigación propuesta por Mankiw et al. (1992) para hacer uso del modelo de Solow-Swan ampliado con capital humano. Como novedad teórica, este estudio amplía adicionalmente este marco teórico incluyendo la variable de complejidad económica como proxy del conocimiento generado e incorporado en los productos exportados por la economía china.

Los resultados econométricos indican que la complejidad económica, medida a través del valor de las exportaciones de productos complejos, se vio incrementada gracias a la entrada de China en la OMC y a una inversión en capital humano en años posteriores. Así mismo, la desaceleración que presenta desde el comienzo de la Crisis Financiera de 2008 podría estar indicando un acercamiento de la economía china a su correspondiente estado estacionario provocado, en parte, por un menor aporte de la variable de complejidad económica. En otras palabras, encontramos evidencias de que China enfrenta el reto de seguir generando conocimiento a la vez que lo integra eficientemente en sus productos.

Políticas dirigidas a aumentar el conocimiento incorporado en la producción tales como a la educación de la población, el fomento de la inversión en I+D, el cuidado del sistema financiero y, especialmente, la potenciación de las colaboraciones público-privadas entre empresas, universidades y el Sector Público, podrían ayudar a China a recuperar las tasas de crecimiento que presentaba antes de la crisis.

Palabras clave: crecimiento económico, modelo de Solow-Swan, complejidad económica, China, OMC, modelo neoclásico.

ABSTRACT

This Bachelor Thesis analyzes the growth of the Chinese economy in the period between 1995 and 2017 to assess which factors led to Chinese economic growth after its entrance into the World Trade Organization. It resorts to the research line proposed by Mankiw et al. (1992) and takes use of the Solow-Swan model expanded with human capital. As a theoretical novelty, this study goes further by incorporating to this model the economic complexity variable as a proxy for the knowledge generated and embedded into the products exported by the Chinese economy.

The econometric results point out that the economic complexity, measure though the value of exports of complex products, increased thanks to China's entry into the WTO and the investment performed in human capital years before. Likewise, the growth deceleration that China is facing since the beginning of the Financial Crisis in 2008, could be the result of its approaching to the steady state, partly caused by the lesser contribution to the economic complexity factor to China's growth. In other words, we find evidence that China has the double challenge of creating more knowledge which, at the same time, should be efficiently incorporated into its products.

Policies aiming to increase the knowledge embedded into its production such as the education policies, promotion of R&D investment, the improvement of the Chinese financial system and, specially, the enforcement of private-public partnership collaboration between firms, universities and the public sector, will help China return to the growth rates that it showed before the crisis.

Key words: economic growth, Solow-Swan model, economic complexity, China, WTO, neoclassical model.

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MODELO TEÓRICO DE CRECIMIENTO.....	5
2.1. Crecimiento Económico.....	5
2.2. Modelo Neoclásico de Solow-Swan.....	6
2.3. Función de Producción Cobb-Douglas.....	7
2.4. Contribución Teórica al Crecimiento Económico.....	7
2.4.1. <i>Modelo de Solow ampliado</i>	8
2.5. Introduciendo la Complejidad al Modelo de Solow.....	10
2.5.1. <i>Complejidad Económica</i>	11
2.5.2. <i>Complejidad del Comercio</i>	13
2.5.3. <i>Contabilidad de Crecimiento</i>	15
2.5.4. <i>Cálculo del Residuo de Solow</i>	17
2.5.5. <i>El Estado Estacionario con Complejidad Económica</i>	18
2.6. Incluyendo a la OMC y la Crisis Financiera en el Modelo.....	21
3. DATOS Y CÁLCULO DE LAS VARIABLES.....	23
3.1. Bases de Datos.....	23
3.1.1. <i>Penn World Table</i>	23
3.1.2. <i>World Bank</i>	24
3.1.3. <i>Atlas of Economic Complexity</i>	25
3.2. Construcción del Capital Humano.....	26
3.3. Construcción de la Complejidad.....	27
4. ANÁLISIS EMPÍRICO DEL CRECIMIENTO DE CHINA.....	28
4.1. Contabilidad del Crecimiento.....	28
4.1.1. <i>Contabilidad con Capital Humano</i>	29
4.1.2. <i>Contabilidad con Complejidad Económica</i>	29
4.1.3. <i>Extracción de la Tecnología del Residuo</i>	30
4.1.4. <i>Aporte de Cada Factor al PIB</i>	31
4.2. Análisis Econométrico.....	33
4.2.1. <i>Modelo de Solow Ampliado por Mankiw</i>	33
4.2.2. <i>Modelo de Solow Ampliado con Complejidad</i>	35
4.2.3. <i>Aportación de la Educación a la Complejidad del Comercio</i>	39
5. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	40
5.1. Congruencias con el Modelo de Solow Ampliado.....	40
5.2. Complejidad como Principal Factor de Crecimiento.....	41
5.2.1. <i>Entrada en la OMC y la Aparición de la Crisis Financiera de 2008...</i>	43

5.3. Educación y Tecnología.	44
5.4. Complejidad como Fuente de Crecimiento en el Largo Plazo.	45
6. CONCLUSIÓN.	46
7. BIBLIOGRAFÍA.	47
8. ANEXO.	49
8.1. Apéndice Matemático.	49
8.1.1. <i>Diferencial de las ecuaciones (18) y (46)</i>	49
8.2. Apéndice de Tablas.	50

1. Introducción

El crecimiento del PIB per cápita de China ha experimentado tasas de crecimiento cada vez más elevadas desde 1995. Este primer año presentaba una tasa de crecimiento de un 9,75%. Sin embargo, durante los años 2000, 2007 y 2017, las tasas de crecimiento fueron de un 7,64%, 13,64% (siendo la más alta de este periodo) y un 6,16% respectivamente (Banco Mundial, 2020). Estos datos muestran cómo el crecimiento de China ha sido anormalmente positivo e incluso no parece haber existido ninguna debilidad significativa durante la Crisis Financiera de 2008.

Una situación inusual, caracterizada por grandes cambios a nivel macroeconómico y social, sitúa a China en la mira del panorama internacional. Esta ha observado cómo un país, muy por debajo de las principales potencias económicas, ha experimentado una transformación radical convirtiéndose en uno de los principales motores de la economía mundial (Velarde, 2018).

Dani Rodrick (2006) en su trabajo *What's so Special About China Exports?*, comienza con una frase que introduce a la perfección el principal interés de este estudio.

"The phenomenal performance of China constitutes the great economic miracle of the last quarter century." (D. Rodrick, 2006).

¿Qué elementos pueden hacer llevar a definir como milagro a la evolución de un país? Esta situación tan singular ha atraído el interés de un gran número de investigadores en los últimos años.

El crecimiento sostenido de China ha provocado una importante transformación en la estructura económica del país, dando lugar a una polarización de la sociedad con extremas desigualdades. En 1996 (no existe el dato de 1995) el índice de Gini sostenía un valor de 0,352, mientras que en 2010 asciende al valor más alto que ha registrado de 0,437. El último dato recogido es en 2015 con un 0,386 (Banco Mundial, 2020).

Dicha polarización se ha visto reflejada en la estructura de los sectores del empleo. Mientras que al principio de la década de los noventa el sector agrícola suponía casi un 60% del total del empleo, esta se reduce a un 27% en 2017. Entre tanto, el

sector servicios se encontraba en un tercer plano con respecto al sector agrícola e industrial con un 24,8% del total del empleo en 1995. En 2017 pasa a representar un 44%. Esto explica cómo la población ha ido emigrando del interior (la zona agrícola) a las ciudades situadas en la costa. Según los datos recogidos por el Banco Mundial (2020), la población rural en China suponía un 69,04% del total en 1995. Tras 27 años, esta se ha reducido al 42%, mientras que la población urbana ha incrementado de un 30,96% en 1995 a un 58% en 2017.

Es aquí donde surge la motivación de esta tesis. Esta es, estudiar el cambio estructural de la economía china entre 1995-2017. El trabajo parte de la premisa de que la entrada en la Organización Mundial del Comercio (OMC) por parte de China impulsó significativamente el comercio exterior, lo que llevó un cambio estructural por el cual la economía acabó desarrollando sectores de mayores niveles de conocimiento y complejidad.

Con el objetivo de validar esta hipótesis, analizaremos la economía china antes y después de que decidiera incorporarse a la OMC. Para llevar a cabo el análisis, este estudio sigue la línea del trabajo de N. Mankiw, D. Romer y D. Weil (1992) “A Contribution to the Empirics of Economic Growth” donde, a partir del modelo de Solow clásico, estudian el crecimiento de varias economías añadiendo la variable de capital humano al modelo clásico. También realizan un análisis de las implicaciones del modelo de Solow en la velocidad de convergencia hacia el estado estacionario según el nivel inicial de renta de los países o, lo que es lo mismo, estudian la condición de convergencia condicionada con el modelo de Solow.

La novedad de este trabajo con respecto al de Mankiw et al. (1992), es la incorporación de una nueva variable al modelo. Esta variable, denominada *complejidad económica*, pretende representar el factor tecnológico recogido en la variable de productividad del modelo de Solow, es decir, el denominado “residuo de Solow”.

El origen de esta variable de complejidad económica surge de los estudios de Hausmann e Hidalgo et al. (2013) acerca de la complejidad de los productos que exportan los países. Este concepto trata de el conocimiento o tecnología incorporado en los productos. Este conocimiento mide las capacidades que los diferentes agentes económicos aportan al proceso de producción de cada bien. Así,

el conocimiento surge como función de las conexiones (capacidades) presentes de cada producto con el resto de productos fabricados. Cuanto más capacidades o conexiones posea un producto, mayor será su complejidad y, por ende, mayor será el nivel tecnológico del mismo

Con el fin de incorporar correctamente esta variable en el modelo, primero desarrollaremos teóricamente el modelo teórico de Solow-Swan propuesto por Mankiw et al. (1992) ampliándolo con esta nueva variable. Posteriormente, plantearemos la parte empírica a través de dos ejercicios: un ejercicio de contabilidad del crecimiento para estimar correctamente los coeficientes de cada variable junto con la estimación del nuevo residuo de Solow. Este se obtiene una vez es extraída la parte correspondiente al componente de la variable de complejidad económica. Gracias a ello, observamos que el “nuevo residuo de Solow” es mucho menor que el planteado tradicionalmente en la literatura (Sala-i-Martin, 2000). Todo ello debido a que el residuo clásico incorporaba elementos correspondientes a la complejidad de los productos.

Finalmente, y como novedad adicional, analizaremos la relación entre el capital humano y la variable de complejidad económica. Su interés se debe a que el capital humano se construye a partir de datos sobre la educación en China. Puesto que la educación genera conocimiento, se espera que el capital humano muestre una relación positiva y significativa con la complejidad económica. Así, planteamos dos escenarios donde las variables explicativas son la inversión en capital físico y el capital humano. En el primer escenario, la variable dependiente se mide a través del valor de las exportaciones sobre el PIB, mientras que, en el segundo escenario, se recoge con la variable de complejidad económica.

El segundo ejercicio experimental, busca analizar a través de un ejercicio empírico el impacto que cada factor de crecimiento ha tenido sobre el crecimiento económico de China, así como su acercamiento a su *estado estacionario*. Gracias al programa Gretl, aplicaremos estimadores de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) a distintas especificaciones derivadas de la teoría, con el fin de conocer si la complejidad o los factores clásicos, son los que mejor determinan el acercamiento al estado estacionario en el caso. Una vez obtenidos los resultados, se analizarán con respecto a las decisiones políticas tomadas por China en el periodo analizado.

Los resultados finales evidencian cómo el crecimiento de la variable de complejidad económica toma protagonismo en el modelo de Solow a la hora de explicar el crecimiento del PIB per cápita de China. En concreto, la variable explica una aportación positiva de un 0,475% (en tanto por uno) de esta al crecimiento del PIB, frente a un 0,434% (en tanto por uno) por parte de la inversión en capital físico. En una siguiente versión del modelo, incorporaremos la entrada de la OMC como variable explicativa, se observa cómo esta proporciona un gran crecimiento a la complejidad económica mediante una aportación del 58,8% (en tanto por ciento) sobre el crecimiento del PIB.

Como novedad adicional, analizaremos la relación entre el capital humano y la variable de complejidad económica. Su interés se debe a que el capital humano se construye a partir de datos sobre la educación en China. Puesto que la educación genera conocimiento, se espera que el capital humano muestre una relación positiva y significativa con la complejidad económica. Así, se plantean dos escenarios donde las variables explicativas son la inversión en capital físico y el capital humano. En el primer escenario, la variable dependiente se mide a través del valor de las exportaciones sobre el PIB, mientras que, en el segundo escenario, se recoge con la variable de complejidad económica.

Los datos obtenidos en cuanto a los dos escenarios planteados sobre la relación entre el capital humano y la complejidad económica son bastante concluyentes. La variable de capital humano aporta un cambio positivo del 1,251% dentro del modelo donde la complejidad económica desempeña el papel de variable dependiente, mientras que en el escenario que explica el valor de las exportaciones sobre el PIB, esta presenta una aportación del 0,534%. A raíz de los resultados, podemos apuntar a la importancia de la educación en el progreso tecnológico del país, es decir, la calidad de los productos, en tanto que la inversión en capital físico está destinada en mayor medida al volumen de productos exportados.

Una vez planteadas las hipótesis de estudio y los objetivos, el presente Trabajo de Fin de Grado se estructura de la siguiente manera. En la sección 2 expondremos el modelo de crecimiento neoclásico. La sección 3 se centrará en la obtención de datos y la construcción de las variables necesarias para el estudio. El apartado 4 atiende al análisis empírico junto a los resultados obtenidos. En la sección 5 se discutirán los resultados, de modo que se pueda inferir una serie de implicaciones

de políticas económicas a partir de los mismos. Finalmente, concluiremos el estudio en el apartado 6.

2. Modelo Teórico de Crecimiento

En esta sección se explicará el marco teórico en el que se basará posteriormente el análisis empírico. Para ello, el estudio se ha realizado mediante el uso del modelo de crecimiento neoclásico más utilizado, el modelo de Solow-Swan, el cual es ampliado de acuerdo con los estudios de N. Mankiw, D. Romer y D. Weil (1992). Siguiendo el modelo de Solow ampliado por estos autores, la novedad principal del trabajo supone incorporar la variable de complejidad económica con el fin de responder cómo el comercio exterior y la tecnología han afectado al crecimiento de China, así como los efectos que tuvo sobre la economía de China la entrada del país en la OMC.

2.1. Crecimiento Económico

Para intentar explicar por qué ha crecido la economía de China es necesario hacernos la pregunta de por qué crecen las economías. La primera respuesta que podría plantearse, de acuerdo con el modelo de Solow, sería la inversión por parte de las empresas en capital físico, es decir, maquinarias, cualificación de los trabajadores, etc. De esta forma, podrían mejorarse los factores productivos incrementando la eficiencia de la compañía, un factor directamente relacionado con otra posible respuesta a la pregunta planteada, la tecnología. El progreso tecnológico permite a una sociedad mejorar los procesos productivos, fabricando más y mejor en menor tiempo y a menor coste.

En un modelo de crecimiento se pueden diferenciar varias partes. Por un lado, están las familias que con su renta deciden si consumir o ahorrar. Por otro lado, se encuentran las empresas que, gracias a la combinación de la mano de obra y el capital de las familias con los procesos productivos que han diseñado, generan productos para luego venderlos. Como nexo entre ambas partes, se hallan los mercados. En estos se intercambian puestos de trabajo por salarios y bienes producidos por las empresas a cambio del capital de las familias a un precio determinado por dicho mercado. De esta forma, gracias a los mercados, todas las ofertas y demandas de la economía se igualan (Sala i Martin, 2000).

En este estudio llevamos a cabo un análisis del PIB por el lado de la oferta mediante el modelo neoclásico de Solow-Swan.

2.2. Modelo Neoclásico de Solow-Swan

El modelo de crecimiento neoclásico de Solow explica cómo el PIB (Y_t) se compone de tres factores:

El primero de ellos corresponde al trabajo (L_t), es decir, la cantidad de trabajadores que presenta la economía. El segundo factor corresponde a la inversión en capital físico (K_t) el cual está relacionado con la instrumentación física utilizada por las empresas en el proceso productivo. Por último, el factor de la tecnología (A_t) o productividad, un factor más intangible que los anteriores, indica en qué proporción combinar el capital y el trabajo.

Así, la unión de estos tres factores, dan lugar a la siguiente función de producción.

$$(1) \quad Y_t = F(K_t, L_t, A_t)$$

Esta es la función de crecimiento neoclásica de Solow y Swan. Como se puede observar, la producción crece a aumentos de la inversión en capital físico (K_t), el trabajo (L_t) y la tecnología (A_t).

Esta igualdad recibe el nombre de función neoclásica puesto que representa la combinación matemática de estos tres factores y además cumple tres importantes propiedades (Sala i Martin, 2000).

- Dicha función presenta rendimientos constantes a escala, es decir, si el factor capital o trabajo se ven multiplicados por una constante, el lado de la oferta, la producción, también se multiplica por la misma constante. La tecnología, al ser un bien no rival y debido al principio de réplica, no entra en el supuesto de rendimientos constantes a escala tal y como lo hacen el capital y el trabajo.

$$(2) \quad F(xK_t, xL_t, A_t) = xF(K_t, L_t, A_t)$$

- La productividad marginal de los factores de producción que componen la función es positiva y al mismo tiempo decreciente. Esto quiere decir que, a medida que aumenta tanto el capital como el trabajo, manteniendo uno de las dos constantes, la producción también lo hará, pero a un ritmo cada vez

menor. Así obtenemos una función cóncava. Esto matemáticamente se puede expresar de la siguiente forma.

$$(3) \quad \frac{dF}{dK} > 0, \frac{dF}{dL} > 0$$

$$(4) \quad \frac{d^2F}{dK^2} < 0, \frac{d^2F}{dL^2} < 0$$

- La última característica que ha de satisfacer la función neoclásica hace referencia a un conjunto de requisitos llamados *Condiciones de Inada*. Estas condiciones determinan que cuando el capital o el trabajo se aproximen a 0, su productividad marginal tienda al infinito y viceversa.

$$(5) \quad \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{dF}{dK} = 0, \lim_{K \rightarrow 0} \frac{dF}{dK} = \infty$$

$$(6) \quad \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{dF}{dL} = 0, \lim_{L \rightarrow 0} \frac{dF}{dL} = \infty$$

2.3. Función de Producción Cobb-Douglas

Con el fin de estudiar qué factores han afectado en mayor medida a la producción de China, la función neoclásica de Cobb-Douglas arroja luz sobre esta incógnita. Dicha función satisface las características de una función neoclásica antes descritas y viene representada por la siguiente expresión.

$$(7) \quad Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha}$$

De esta forma puede estudiarse α , una constante que se encarga de medir la porción de renta que se queda el capital, comúnmente denominada como participación del capital o elasticidad del capital sobre la producción. Así, su obtención se puede determinar de la siguiente manera.

$$(8) \quad K = \alpha Y$$

$$(9) \quad L = (1 - \alpha)Y$$

2.4. Contribución Teórica al Crecimiento Económico

Con el objetivo de desarrollar aún más este modelo y explicar el peso que supone la complejidad económica en el crecimiento de China, este trabajo continúa la línea de investigación del estudio desarrollado por N. Mankiw, D. Romer y D. Weil en "A Contribution to the Empirics of Economic Growth" en el año 1992.

Mankiw, en su trabajo junto a Romer y Weil (1992), aporta una ampliación del modelo de Solow mediante la implementación del capital humano como variable adicional. Además, analiza la velocidad de convergencia al estado estacionario mediante la velocidad de depreciación que experimentan las variables del modelo. Este estudio desarrolla un modelo que trata de explicar cómo la acumulación de capital por trabajador efectivo por parte de los países puede explicarse gracias a la inversión en capital físico y en capital humano. Asimismo, desarrolla la hipótesis de convergencia condicional, donde cada país tiende a confluir a un estado estacionario a un ritmo determinado por su nivel de renta per cápita inicial y que cuanto más lejos estén de este estado, su crecimiento será mayor.

2.4.1. Modelo de Solow ampliado

El modelo fundamental de Solow, sin considerar otras variables que no sean la inversión en capital físico, el trabajo y la productividad como residuo, asume que se invierte una fracción constante de la producción definida como “ s ”. Por otro lado, “ k ” representaría el stock de capital por unidad efectiva de trabajo ($k = \frac{K}{AL}$) e “ y ” el nivel de producción por unidad efectiva de trabajo ($y = \frac{Y}{AL}$), donde la evolución de “ k ” se rige por:

$$(10) \quad \dot{k}_t = sy_t - (n + g + \delta)k_t = sk_t^\alpha - (n + g + \delta)k_t$$

Donde “ n ” representa el crecimiento de la población, “ g ” el crecimiento de la productividad y “ δ ” la tasa de depreciación. Dicha ecuación (10) implica que “ k ” converge a un valor de estado estacionario “ k^* ” definido por:

$$(11) \quad sk_t^{*\alpha} = (n + g + \delta)k_t^*$$

o

$$(12) \quad k_t^* = \left[\frac{s}{(n+g+\delta)} \right]^{\frac{1}{1-\alpha}}$$

La relación existente entre el capital y el trabajo en el estado estacionario implica una relación positiva con la tasa de ahorro y negativa con la tasa de crecimiento de la población. Sustituyendo (12) en la función de producción de Solow y tomando logaritmos, se obtiene la función de ingresos per cápita en el estado estacionario:

$$(13) \quad \ln \left[\frac{Y(t)}{L(t)} \right] = \ln A(0) + gt + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta)$$

Donde “**A(0)**” refleja la variable residual (que incluye la tecnología del país a parte de factores como el clima, las instituciones, geografía, etc) en el año base.

Mankiw et al. (1992) aporta una ampliación de este modelo añadiendo la variable de capital humano. Así, la función de producción se expande de la siguiente forma.

$$(14) \quad Y(t) = B(t)K(t)^\alpha Hc(t)^\beta L(t)^{1-\alpha-\beta}$$

Continuando en la misma dinámica, “**shc**” representará la fracción del ingreso invertida en el capital humano, donde “**hc**” ($hc = \frac{Hc}{AL}$) representa la cantidad de esta por unidad de trabajo efectivo. Así la economía se movería con las siguientes expresiones.

$$(15.a) \quad \dot{k}(t) = s_{k_t}y(t) - (n - g - \delta)k_t$$

$$(15.b) \quad \dot{hc}(t) = s_{hc_t}y(t) - (n - g - \delta)hc_t$$

Dichas ecuaciones implican que la economía converge a un estado estacionario. Este equilibrio sería definido por.

$$(16.a) \quad k^* = \left(\frac{s_{k_t}^{1-\beta} s_{hc_t}^\beta}{n+g+\delta} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}}$$

$$(16.b) \quad hc^* = \left(\frac{s_{k_t}^\alpha s_{hc_t}^{1-\alpha}}{n+g+\delta} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta)}}$$

Sustituyendo las ecuaciones (16.a) y (16.b) en la ecuación de producción de la misma forma que la ecuación (12), obtendríamos algo similar a la ecuación (13).

$$(17) \quad \ln \left[\frac{Y(t)}{L(t)} \right] = \ln B(0) + gt - \frac{\alpha + \beta}{1-\alpha-\beta} \ln(n + g + \delta) + \frac{\alpha}{1-\alpha-\beta} \ln(s_{k_t}) + \frac{\beta}{1-\alpha-\beta} \ln(s_{hc_t})$$

Como aportación final y con el fin de analizar cómo afecta la riqueza inicial del país al crecimiento de su economía, la ecuación (17) es modificada de forma que la variable dependiente es representada por la acumulación de capital por unidad de trabajo efectivo y entre las variables explicativas se añade la renta por unidad de trabajo efectivo del año base (**y(0)**).

Se comienza representando la ecuación (17) como y^* e $y(t)$ como los ingresos por trabajador efectivo en el año “ t ”. Mediante la ecuación (19) se estima la velocidad a la que la economía converge hacia el estado estacionario.

$$(18) \quad \frac{d \ln(y(t))}{dt} = \lambda [\ln(y^*) - \ln(y(t))]$$

Donde:

$$(19) \quad \lambda = (n + g + \delta)(1 - \alpha - \beta)$$

La ecuación (37) denota una función diferencial que se desarrollada en el anexo, en el apartado “Apéndice Matemático”.

Tras el desarrollo de la ecuación, se obtiene la siguiente función (20).

$$(20) \quad \ln(y(t)) = (1 - e^{-\lambda t}) \ln(y^*) + e^{-\lambda t} \ln(y(0))$$

Para obtener en la variable independiente la acumulación de capital por trabajador efectivo, se resta en ambos lados de la ecuación el logaritmo del capital por trabajador efectivo en el año base ($\ln y(0)$) y se sustituye y^* . Finalmente se obtiene la función sobre la que aplicaremos el método de los mínimos cuadrados ordinarios.

$$(21) \quad \ln(y(t)) - \ln(y(0)) = (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta} \ln s_{kt} + (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta} \ln s_{hct} - (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\alpha + \beta}{1 - \alpha - \beta} \ln(n + g + \delta) - (1 - e^{-\lambda t}) \ln(y(0))$$

En la función final se Solow, la acumulación del ingreso por unidad de trabajo efectivo es definido por los determinantes del estado estacionario final y el nivel inicial de ingresos por unidad de trabajo efectivo.

2.5. Introduciendo la Complejidad al Modelo de Solow

A continuación, llevamos a cabo una segunda ampliación del modelo diseñado por Mankiw et al. (1992) incluyendo la variable de complejidad económica. De esta forma, obtenemos la función final del trabajo destinada a analizar el crecimiento de la economía de China. Sin embargo, antes de explicar el diseño del modelo, es necesario comprender qué es la complejidad económica y con qué fin se implementa en éste.

2.5.1. Complejidad Económica

El concepto de complejidad económica ha sido aplicado como eje fundamental del estudio. Sin él, hubiera sido extremadamente difícil continuar estudiando el comercio en una función neoclásica de crecimiento como la de Solow y Swan.

Para hablar sobre complejidad económica es necesario destacar el concepto de conocimiento. Los productos están hechos con conocimiento. Por ejemplo, un bote de jabón, simplificando, se trata de un simple recipiente que contiene una sustancia líquida que sirve para que las personas se aseen. Sin embargo, la química tanto de la sustancia como del recipiente que la contiene, reúnen una larga herencia de conocimiento que se ha desarrollado a lo largo de la historia, mejorando la comprensión del producto y por consiguiente su calidad. Todo esto sin entrar en la estructura económica y empresarial que representa su producción y distribución.

Cuando se habla sobre el conocimiento es importante destacar dos tipos. El primero y el más simple, es el conocimiento explícito, es decir, información que podemos adquirir leyendo. El segundo es el más importante y difícil de transmitir, se trata del aprendizaje, la capacidad de los individuos para aplicar el conocimiento que poseen.

Por lo tanto, los productos suponen un medio de transporte para el conocimiento, pero requieren individuos que posean una comprensión de los mismos, es decir, aquellos que poseen el conocimiento necesario para que estos productos existan. De esta forma, la diversidad en el conocimiento de una sociedad dependerá de la habilidad que tengan los individuos para combinar la información que poseen con el fin de crear productos más complejos. A mayor combinación de conocimientos, mayor complejidad, siendo esto el secreto de la modernización.

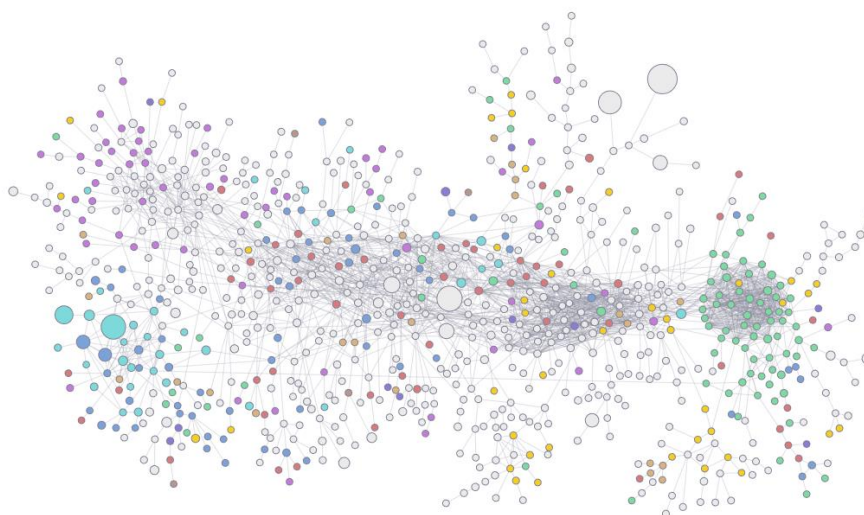
En lugar de una sola persona poseedora de conocimiento, se plantea una empresa como unidad de conocimiento. Por ejemplo, para fabricar un coche se necesitan de las distintas piezas que lo componen. Una sola empresa no se encarga de fabricar todas ellas para luego ensamblarlas y vender el producto, sino que habrá una empresa que se encargue del motor, otra de las puertas, otra del sistema de navegación, etc. Así todas se unirán para que otra empresa se encargue de fabricar el producto final. Sin embargo, cada empresa que fabrica una pieza no solo lo hace para coches, quizás también fabrica piezas para otro tipo de productos.

Si cada empresa representa un nodo, nos topamos con una red de puntos interconectados entre sí, donde cada uno representa una unidad de conocimiento. Así, la complejidad de un producto vendrá determinada por el volumen de nodos necesarios para fabricarlo, es decir, de las unidades de conocimiento interconectadas que se necesitan para su producción. Por lo tanto, la complejidad de un país corresponderá a la variedad de productos a los que esté conectado.

Tras a una lectura de “The Atlas of Economic Complexity” por Hausmann e Hidalgo et al. (2013), comenzamos a desarrollar la idea en la que se basaría una variable que pudiera explicar el comercio exterior junto a la tecnología y así poder introducirla en el modelo de Solow con éxito. En este estudio desarrollamos el concepto de complejidad económica tal y como se ha explicado, una red de nodos de conocimiento interconectados que dotan de un valor determinado tanto a países como productos exportados.

Si hubiera que representar de forma gráfica este concepto, se visualizaría mediante un grafo, donde cada nodo coloreado representaría los tipos de bienes producidos y las aristas representarían las distintas conexiones establecidas con otros productos relacionados.

Figura 1: Espacio de Productos de China en 2017.



Fuente: The Atlas of Economic Complexity (2019)

La Figura (1) es la representación gráfica del índice de complejidad económica (ECI) de China en el año 2017. De la misma forma que existe este índice, debido a

que los productos también poseen complejidad, el índice de complejidad del producto (PCI) se encarga de medir la complejidad de estos bienes.

El PCI ha aportado la diferencia fundamental, o novedad, a la hora de analizar el crecimiento de China con respecto a otros estudios. Un país puede exportar un gran volumen de productos, pero si estos no representan un activo realmente valioso su venta no va a aportar los suficientes beneficios como para justificar un crecimiento como el que ha experimentado China. Se podría producir una gran cantidad de productos agrícolas o textiles y venderlos, pero el valor de estos no va a ser comparable con productos de una complejidad superior, como pueden ser aparatos electrónicos, coches, maquinaria sofisticada, etc. En este aspecto radica la importancia de las características de los productos que ha exportado China y cómo han evolucionado en las últimas dos décadas. (Hausmann et al., 2013)

2.5.2. Complejidad del Comercio

A continuación, sentamos las bases sobre las que se construye la variable de complejidad económica desde una perspectiva teórico-matemática.

El detonante del factor que encabezaría el desarrollo de este estudio, lo protagoniza Dani Rodrik (2006) en su trabajo “What’s So Special About China’s Exports?”. En él, Rodrik habla sobre la relevancia que cobra en el desarrollo económico de China la naturaleza y el tipo de los productos que exporta. Esto nos llevó a enfocarnos en la evolución de la tecnología de los productos.

D. Rodrick (2006) expresaba que era más importante conocer qué exportaba China, para estudiar su comercio con respecto al crecimiento económico, que el volumen exportado. Por esta razón desarrolla una función que trata de explicar las características de sus exportaciones. Esto lo hace analizando la venta de un producto determinado al exterior con respecto al volumen total de exportaciones del propio país y con respecto a las exportaciones de ese mismo producto en el resto del mundo. Así, esta función, llamada EXPY, tiene la siguiente expresión.

$$(22) \quad EXPY_j = \sum_l \frac{x_{jl}}{x_j} PRODY_l$$

Siendo PRODY:

$$(23) \quad PRODY_l = \sum_j \frac{\frac{x_{jl}}{x_j}}{\sum_j (\frac{x_{jl}}{x_j})} Y_j$$

Teniendo en cuenta que:

$$(24) \quad X_j = \sum_l x_{jl}$$

Donde los países son indexados por “*j*” y los productos por “*l*” para cualquier año. El PRODY trata el sumatorio de las exportaciones de un determinado producto en un país, dividido por el total de exportaciones del mismo país ($\frac{x_{jl}}{x_j}$), dividido entre la misma relación de ese producto en el resto de los países ($\sum_j (\frac{x_{jl}}{x_j})$) y todo ello multiplicado por el PIB per cápita (Y_j). El PCI, anteriormente explicado, trata el mismo concepto, pero con una complejidad aun superior que otorga mayor precisión al estudio del comercio. De la misma forma, el EXPY mantiene la misma relación con el ECI que el PRODY con el PCI.

Debido a que tanto el cálculo del ECI como del PCI poseen una complejidad matemática por encima de los objetivos de este estudio, ambos se han obtenido directamente de la base de datos del Atlas of Economic Complexity (2019).

Volviendo a la ecuación (9), en la función de Cobb-Douglas, tanto el capital físico como el trabajo se encuentran dentro de la función, sin embargo, la productividad se encuentra fuera. Esto es así porque Solow trata esta variable como constante (su coeficiente es uno). Con esto concluye que es una variable que recoge una variedad de factores que no han sido cuantificados, la considera una variable residual.

El objetivo en este trabajo es tomar la variable residual representada por la productividad y descomponerla en otras dos variables. La primera constituiría el valor de exportaciones de productos complejos, es decir, aquellos productos que muestran un PCI por encima de “0”¹, que representará al comercio exterior y la tecnología en la función. La segunda variable tendrá el mismo carácter que la

¹ Los valores del PCI oscilan en un rango entre “-3” y “3”. Aquellos productos con valores positivos (por encima de “0”) y más cercanos a “3”, serán los más complejos, con mayor nivel de conocimiento. Todos los productos cuyo PCI tome valores negativos no se considerarán en el estudio por no tener un nivel de tecnología suficiente.

productividad, será una variable residual de la cual ha sido absorbido el factor tecnológico por la complejidad económica.

De esta forma, la nueva ecuación que explique el PIB (Y_t) estará compuesta por una variable residual, la cual se comportará como constante (B_t) y dentro de la función las variables de inversión en capital físico (K_t), capital humano (Hc_t) y complejidad económica (C_t).

$$(25) \quad Y_t = B_t F(K_t, C_t, Hc_t, L_t)$$

Siendo “ B_t ” la nueva variable residual obtenida después de transferir su factor tecnológico a la variable de complejidad económica.

Según la función Cobb Douglas, la nueva ecuación se mostraría de la siguiente forma.

$$(26) \quad Y_t = B_t K_t^\alpha C_t^\beta Hc_t^\mu L_t^{1-\alpha-\beta-\mu}$$

A partir de la ecuación (26) podemos llevar a cabo dos análisis paralelos pero complementarios. Por un lado, plantearemos un ejercicio de “Contabilidad del Crecimiento”. Por el otro, analizaremos como llegar al estado estacionario una vez ampliamos el modelo de Solow con la nueva variable.

2.5.3. Contabilidad de Crecimiento

Solow plantea una metodología específica para estudiar la contribución de los distintos factores que plantea el modelo y así determinar cuál de ellos ha afectado en mayor medida al crecimiento de la producción de China. Los factores susceptibles a estudio en este caso son cinco: el crecimiento del capital físico, el crecimiento del trabajo, el crecimiento del capital humano, el crecimiento de la complejidad económica y progreso tecnológico.

El análisis comienza con la función de crecimiento neoclásica propuesta en los apartados anteriores con ligeros cambios. Para simplificar dicho análisis, la variable residual es colocada fuera de la función, siendo el capital físico, el capital humano y la complejidad económica los tres únicos inputs privados. El capital humano es representado por el factor trabajo multiplicado por “ q ”, un índice que mide su calidad.

$$(27) \quad Y_t = B_t F(K_t, C_t, Hc_t, L_t)$$

$$(28) \quad Hc = qL$$

Así, para obtener la tasa de crecimiento agregado, tomamos logaritmos en ambos lados de la función y derivamos con respecto al tiempo.

$$(29) \quad \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{B}}{B} + \left(\frac{AF_K}{Y}\right) \dot{K} + \left(\frac{AF_C}{Y}\right) \dot{C} + \left(\frac{AF_{Hc}}{Y}\right) \dot{Hc} + \left(\frac{AF_L}{Y}\right) \dot{L}$$

Se multiplican y dividen por “K”, “Hc”, “C” y “L” los términos que se encuentran en el interior de los paréntesis respectivamente. De esta forma, el primer término entre paréntesis representa la participación del capital físico en la renta nacional, o como se conoce “ α ”, el segundo término corresponde a la participación de la complejidad económica en la renta nacional “ β ”, el tercer término explica la participación del capital humano en la renta nacional “ μ ” y por último la participación por parte de los trabajadores “ $1-\alpha-\beta-\mu$ ”.

$$(30) \quad \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{B}}{B} + \left(\frac{AF_K K}{Y}\right) \frac{\dot{K}}{K} + \left(\frac{AF_C C}{Y}\right) \frac{\dot{C}}{C} + \left(\frac{AF_{Hc} Hc}{Y}\right) \frac{\dot{Hc}}{Hc} + \left(\frac{AF_L L}{Y}\right) \frac{\dot{L}}{L}$$

$$(31) \quad \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{B}}{B} + (\alpha) \frac{\dot{K}}{K} + (\beta) \frac{\dot{C}}{C} + (\mu) \frac{\dot{Hc}}{Hc} + (1 - \alpha - \beta - \mu) \frac{\dot{L}}{L}$$

Con los coeficientes que determinan cómo afectan dichos factores al crecimiento de la producción, se obtiene la tasa de crecimiento del PIB o renta nacional agregada. Dicha función expresa el crecimiento del PIB agregado en función de la suma del crecimiento de la productividad, el crecimiento del capital físico multiplicado por “ α ”, el crecimiento de la complejidad económica multiplicada por “ β ”, el crecimiento del capital humano multiplicado por “ μ ” y el crecimiento de los trabajadores por “ $1-\alpha-\beta-\mu$ ”.

El principal inconveniente de esta función es que tan solo se puede observar cómo afectan al crecimiento de la producción o PIB el crecimiento del capital físico, el crecimiento de la complejidad, el crecimiento del capital humano y el crecimiento de los trabajadores. Sin embargo, el crecimiento de la variable residual puede ser medible de forma indirecta despojando dicho factor de la ecuación.

$$(32) \quad \frac{\dot{B}}{B} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \left(\alpha \frac{\dot{K}}{K} + \beta \frac{\dot{C}}{C} + (\mu) \frac{\dot{Hc}}{Hc} + (1 - \alpha - \beta - \mu) \frac{\dot{L}}{L} \right)$$

A pesar de ser una buena metodología de análisis del crecimiento de la producción, es más interesante estudiar las tasas de crecimiento por trabajador, es decir, el PIB per cápita, que las agregadas como se ha visto hasta ahora. Por ello, con el fin de aumentar la fiabilidad del estudio, dividimos las variables entre el número de trabajadores obteniendo lo siguiente.

$$(33) \quad y = \frac{Y}{L}$$

$$(34) \quad \frac{\dot{y}}{y} = \frac{\dot{Y}}{Y} - \frac{\dot{L}}{L}$$

Sustituyendo esta igualdad se obtiene la siguiente expresión de la tasa de crecimiento de la producción.

$$(35) \quad \frac{\dot{y}}{y} = \left(\frac{\dot{B}}{B} + \alpha \frac{\dot{K}}{K} + \beta \frac{\dot{C}}{C} + (\mu) \frac{\dot{Hc}}{Hc} + (1 - \alpha - \beta - \mu) \frac{\dot{L}}{L} \right) - \frac{\dot{L}}{L} = \frac{\dot{B}}{B} + \alpha \left(\frac{\dot{K}}{K} - \frac{\dot{L}}{L} \right) + \beta \left(\frac{\dot{C}}{C} - \frac{\dot{L}}{L} \right) + (\mu) \left(\frac{\dot{Hc}}{Hc} - \frac{\dot{L}}{L} \right) + (1 - \alpha - \beta - \mu) \left(\frac{\dot{L}}{L} - \frac{\dot{L}}{L} \right) = \frac{\dot{B}}{B} + \alpha \frac{\dot{K}}{K} + \beta \frac{\dot{C}}{C} + (\mu) \frac{\dot{q}}{q}$$

Una vez determinada la metodología para ampliar el modelo de Solow mediante las variables de capital humano y complejidad, es necesario calcular el residuo o la productividad resultante.

2.5.4. Cálculo del Residuo de Solow

Siguiendo la definición de la variable de complejidad económica establecida en este trabajo, donde representa una porción extraída de la productividad, en concreto la tecnología, el valor del nuevo residuo, o nueva variable de productividad, debería ser significativamente menor.

A este nuevo residuo le llamamos “ B_t ” como se ha visto en el apartado anterior. Para su cálculo se va a tomar la función de Cobb-Douglas del nuevo modelo:

$$(36) \quad Y_t = B_t K_t^\alpha C_t^\beta Hc_t^\mu L_t^{1-\alpha-\beta-\mu}$$

A continuación, tomamos logaritmos naturales de la función:

$$(37) \quad \ln Y_t = \ln B_t + \alpha \ln K_t + \beta \ln C_t + \mu \ln Hc_t + (1 - \alpha - \beta - \mu) \ln L_t$$

De esta forma, tan solo quedaría despejar la variable residual de la siguiente forma:

$$(38) \quad \ln B_t = \ln Y_t - \alpha \ln K_t - \beta \ln C_t - \mu \ln Hc_t - (1 - \alpha - \beta - \mu) \ln L_t$$

Ya establecida la forma de calcular esta variable, con el fin de estudiar el crecimiento de todos los factores del modelo, planteamos la ecuación (37) en tasas de crecimiento. Mediante las diferencias de logaritmos se obtiene una aproximación a estas tasas de crecimiento tal y como se muestra a continuación.

$$(39) \quad \ln Y_{t+1} - \ln Y_t = (\ln B_{t+1} - \ln B_t) + \alpha(\ln K_{t+1} - \ln K_t) + \beta (\ln C_{t+1} - \ln C_t) + \mu (\ln Hc_{t+1} - \ln Hc_t) + (1 - \alpha - \beta - \mu) (\ln L_{t+1} - \ln L_t)$$

La ecuación (39) se traduce en:

$$(40) \quad \Delta \ln Y_t = \Delta \ln B_t + \alpha \Delta \ln K_t + \beta \Delta \ln C_t + \mu \Delta \ln Hc_t + (1 - \alpha - \beta - \mu) \Delta \ln L_t$$

Tras determinar todos los aspectos a tener en cuenta para introducir ambas variables en el modelo de Solow base, procedemos a seguir la metodología de Mankiw et al. (1992) comentada en el apartado de “Contribución Teórica al Modelo de Solow”. Esta vez añadiendo la variable de complejidad económica.

2.5.5. El Estado Estacionario con Complejidad Económica

En este apartado introducimos en el modelo de Solow la variable de complejidad económica. Esta permite estudiar cómo ha afectado el comercio hacia el exterior, dotado de un alto nivel de tecnología, al crecimiento del PIB.

La inclusión de esta variable lleva consigo una alteración del modelo tanto a nivel teórico como empírico. A nivel teórico se considera que una parte de la variable de productividad, estimada como constante en el modelo original de Solow, presenta rendimientos decrecientes al igual que la acumulación de capital físico. A nivel empírico, el hecho de incluir esta variable altera los coeficientes que acompañan a la inversión en capital físico y al crecimiento de la población.

La nueva función de producción cobraría esta forma:

$$(41) \quad Y(t) = B(t)K(t)^\alpha C(t)^\beta Hc(t)^\mu L(t)^{1-\alpha-\beta-\mu}$$

Donde “ C_t ” es la complejidad económica y “ B_t ” representa la productividad o variable residual calculada tras implementar la variable de complejidad económica en el modelo. A raíz del apartado previo, “ sk ” representará la fracción del ingreso invertido en capital físico, “ sc ” la fracción invertida en complejidad económica y

“shc” aquella fracción invertida en el capital humano. Con ello, la evolución de la economía se define como:

$$(42.a) \quad \dot{k}_t = s_{k_t} y_t - (n + g + \delta) k_t$$

$$(42.b) \quad \dot{c}_t = s_{c_t} y_t - (n + g + \delta) c_t$$

$$(42.c) \quad \dot{hc}_t = s_{hc_t} y_t - (n + g + \delta) hc_t$$

Donde “ $y = \frac{Y}{BL}$ ”, “ $k = \frac{K}{BL}$ ”, “ $c = \frac{C}{BL}$ ” y “ $hc = \frac{Hc}{BL} = \frac{q}{B}$ ” son cantidades por unidad de trabajo efectivo. Se asume que la función de producción se aplica, al igual que al capital físico y al capital humano, a la variable de complejidad económica y que la unidad de capital que aporta dicha variable se deprecia al mismo ritmo que el resto de factores.

En lo que respecta a los coeficientes, se asume que $\alpha + \beta + \mu < 0$, describiendo que todo el capital presenta rendimientos decrecientes.

Las ecuaciones (42.a), (42.b) y (42.c) implican que la economía converge a un estado estacionario que es definido por:

$$(43.a) \quad k_t^* = \left(\frac{s_{k_t}^{1-\beta-\mu} s_{c_t}^{\beta} s_{hc_t}^{\mu}}{n+g+\delta} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta-\mu)}}$$

$$(43.b) \quad c_t^* = \left(\frac{s_{k_t}^{\alpha} s_{c_t}^{1-\alpha-\mu} s_{hc_t}^{\mu}}{n+g+\delta} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta-\mu)}}$$

$$(43.c) \quad hc_t^* = \left(\frac{s_{k_t}^{\alpha} s_{c_t}^{\beta} s_{hc_t}^{1-\alpha-\beta}}{n+g+\delta} \right)^{\frac{1}{(1-\alpha-\beta-\mu)}}$$

Sustituyendo (43.a), (43.b) y (43.c) en la función de crecimiento y tomando logaritmos da un resultado similar a la ecuación (17) pero con la nueva variable más incluida:

$$(44) \quad \ln \left[\frac{Y(t)}{L(t)} \right] = \ln B(0) + gt - \frac{\alpha + \beta + \mu}{1-\alpha-\beta-\mu} \ln(n + g + \delta) + \frac{\alpha}{1-\alpha-\beta-\mu} \ln(s_{k_t}) + \frac{\beta}{1-\alpha-\beta-\mu} \ln(s_{c_t}) + \frac{\mu}{1-\alpha-\beta-\mu} \ln(s_{hc_t})$$

Esta ecuación describe cómo ingreso per cápita depende del crecimiento de la población, de la acumulación de capital físico, la acumulación de la complejidad económica y la acumulación del capital humano. “ α ” representa la participación del ingreso en capital físico, “ β ” la participación del ingreso en complejidad económica y “ μ ” la participación del ingreso en capital humano².

Por otro lado, en lo que se refiere a “ $\ln(n + g + \delta)$ ”, según Mankiw et al. (1992) se asume que “ $g + \delta = 0.05$ ”, donde la depreciación (δ) presenta un valor en torno a “0,03” de media para todos los países (Salas-i-Martin, 2000). La tasa de crecimiento de la productividad (B_t) viene representada por “ g ”, la cual también es constante. Por último, “ n ” se calcula mediante la tasa de crecimiento de la población.

Siguiendo a Barro (1989), en modelos neoclásicos con rendimientos decrecientes como el modelo de Solow, existe una relación inversa entre la tasa de crecimiento per cápita de un país con su nivel inicial de ingresos por persona, es decir, que los países alcanzan diferentes estados estacionarios a una velocidad distinta en función de su nivel inicial de ingresos per cápita. Por ello, el modelo final sobre el que se va a realizar la regresión trata de estructurar la variable dependiente como la acumulación de capital por persona. Así, empleamos el mismo método utilizado en la ecuación (36):

$$(45) \quad \frac{d \ln(y(t))}{dt} = \lambda [\ln(y^*) - \ln(y(t))]$$

Donde,

$$(46) \quad \lambda = (n + g + \delta)(1 - \alpha - \beta - \mu)$$

Obteniendo como resultado final la ecuación (45).

$$(47) \quad \ln(y(t)) - \ln(y(0)) = (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\alpha}{1 - \alpha - \beta - \mu} \ln s_{k_t} + (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\beta}{1 - \alpha - \beta - \mu} \ln s_{c_t} + (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\mu}{1 - \alpha - \beta - \mu} \ln s_{h_t} - (1 - e^{-\lambda t}) \frac{\alpha + \beta + \mu}{1 - \alpha - \beta - \mu} \ln(n + g + \delta) - (1 - e^{-\lambda t}) \ln(y(0))$$

² . Donde se estima mediante $\alpha = \frac{K_t}{Y_t}$, $\beta = \frac{\sum I X_I * PCI}{X_t}$ y $\mu = \frac{H_{c_t}}{Y_t}$, donde el numerador de la beta representa el sumatorio de cada producto exportado multiplicado por su respectivo índice de complejidad (PCI), siendo 0 para cada $PCI \leq 0$.

Obtenida la ecuación final **(47)** en lo que respecta a las variables que representan factores productivos del PIB, tan solo queda añadir a la OMC y la crisis como elementos determinantes de un cambio estructural en la economía China.

2.6. Incluyendo a la OMC y la Crisis Financiera en el Modelo

Este apartado pretende explicar el acento final aplicado al modelo desarrollado, al que se le añaden dos factores fundamentales con el fin de dar una visión más precisa de la evolución del crecimiento de la economía China.

China ha experimentado dos momentos circunstanciales que han sido determinantes en su economía a lo largo del periodo estudiado (1995-2017). El primero de ellos ha sido su integración en la organización internacional del comercio (OMC) a finales del año 2001, lo cual desencadenó un gran desarrollo en el plano del comercio exterior. El segundo fue la crisis financiera de 2008, una situación que afectó a la economía internacional y por ello a tener en cuenta en el estudio.

El trabajo “How Did China’s WTO Entry Affect U.S. Prices”, desarrollado por Mary Amiti, Mi Dai, Robert C. Feenstra y John Romalis (2017), explica como la incorporación de China a la OMC supuso un gran desarrollo de su mercado exterior. Con esta entrada tuvieron lugar dos cambios principales. El primero fue la creación de relaciones permanentes con China por parte de EEUU, reduciendo así los aranceles a sus exportaciones, y el segundo fue la reducción de las tarifas de entrada por parte del país asiático.

Debido a la reducción de aranceles, se abarataban los precios de importación de China en Estados Unidos. Estas políticas condujeron a que las exportaciones de China a Estados Unidos (siendo este su principal destino de exportaciones) se multiplicaran por cuatro, representando el 85% del crecimiento de estas (Amiti et al, 2017).

Esta situación condujo a un crecimiento económico por parte de Estados Unidos representado por un incremento de un 6,7% en su bienestar, donde un tercio de este crecimiento lo provocó la reducción arancelaria a China y dos tercios por la incorporación de exportadores de nuevos productos chinos. Esto último expresa que China exportaba cada vez más tipos de productos. Si se comparase con el incremento de las exportaciones complejas en ese periodo (2001-2006), podría

observarse una correlación directa entre el desarrollo de este tipo de exportaciones y la incorporación a la OMC (Amiti et al, 2017).

La crisis financiera de 2008 trae consigo una reorientación de la economía de China que afectaría positivamente a la inversión en capital físico y un decaimiento del mercado exterior.

Con el objetivo de paliar los efectos negativos de la crisis, China lleva a cabo un rápido proceso en el que orienta su economía al mercado interno, dejando en un segundo plano el enriquecimiento a base de las exportaciones netas. De esta forma, una de las medidas que tomó fue un paquete de inversiones durante 2009 y 2010 (presentando un 6,5% del PIB) donde concentró estos gastos fiscales en la creación de infraestructuras, es decir, realizó una inversión en el capital físico. Así, los efectos de la crisis fueron exitosamente reducidos y en 2012 se considera que China está fuera de la Crisis (E. Dussel Peters, 2013).

Una vez establecido el entorno de impacto de ambos factores procedemos a incorporar ambas variables de carácter cualitativo a la ecuación. Para ello, las tomamos como variables binarias, es decir, compuestas de unos y ceros. En cuanto a la variable que representa a la OMC, el periodo previo a la incorporación por parte de China vendrá representado por un “0” en cada año y los años posteriores se representarán por el producto de la contrapartida binaria “1” con el valor de las variables representadas en el modelo (inversión en capital físico, complejidad económica y capital humano). Sin embargo, la “crisis” tan solo va a representar una variable de control, donde los años previos a la crisis (1995-2007) y los posteriores a esta (2013-2017) tendrán un valor de “0” y los años de crisis (2008-2012) tendrán un valor de “1”, no siendo el producto de la variable binaria y el resto de variables exógenas del modelo como en el caso de la OMC.

Según la relación causal de ambos periodos a la economía china, deberíamos observar coeficientes positivos en las variable de complejidad económica tras la OMC.

$$(48) \quad OMC_sc_{(1995-2000)} = sc_t * 0 ; OMC_sk_{(1995-2000)} = sk_t * 0$$

$$(49) \quad OMC_sc_{(2001-2017)} = sc_t * 1 ; OMC_sk_{(2001-2017)} = sk_t * 1$$

$$(50) \quad Crisis_{([1995-2000],[2013-2017])} = 0$$

3. Datos y Cálculo de las Variables

Todo trabajo de investigación comienza por la reunión de información, un proceso fundamental que constituye la base donde se va a erigir tanto la tesis del estudio como la argumentación de la misma.

En este proceso de recopilación se distinguen dos tipos de información. La primera, de naturaleza fundamental, ha sido expuesta en el apartado de “Modelo Teórico” y hace referencia a la literatura utilizada para encauzar la tesis planteada y justificar la metodología empleada a lo largo del trabajo. La segunda, razón de esta sección, hace referencia a la recopilación de datos de carácter cuantitativo de las distintas bases de datos. Sobre este tipo de información recae el peso de los resultados, es de gran importancia que los datos sean fiables y coherentes además de presentar uniformidad.

3.1. Bases de Datos

A continuación, presentamos las tres fuentes de datos utilizadas para construir las variables del modelo.

3.1.1. Penn World Table

Las principales variables que componen el modelo de Solow original, es decir, el PIB (Y_t) como variable endógena y la productividad (A_t), la inversión en capital físico (K_t) y los trabajadores (L_t) como variables explicativas, han sido obtenidas de la base de datos de la “*PennWorldTable*”³. Al descargar en formato CSV el archivo referido a las cuentas nacionales (RGDP), nos encontramos una larga lista con las distintas variables organizadas por códigos con sus respectivas descripciones, además de una lista de países relacionados con cada variable por año.

Para obtener el PIB hemos utilizado la variable “*rgdpna*”, la cual hace referencia al PIB real en miles de dólares a precios nacionales constantes según 2011. De la misma forma, la inversión en capital físico (*inna*) se encuentra en las mismas unidades (en miles de dólares y a precios nacionales constantes según 2011). En cuanto al número de personas empleadas (*emp*), su unidad se encuentra en

³ PWT versión 9.1 contiene aquella información sobre niveles relativos de ingresos, productos, insumos y productividad sobre unos 182 países en el periodo comprendido entre 1950 y 2017.

millones de personas en la base de datos, lo que hay que tener en cuenta a la hora de uniformar los datos.

Un aspecto importante de esta base de datos es que tiene un error. Los datos referidos a la inversión en capital físico y al PIB se encuentran intercambiados. Para comprobar este error llevamos a cabo una división de los datos del PIB entre los datos de la inversión en capital físico. Los resultados eran los esperados si se fuera a calcular el valor de “ α ” o la fracción de renta que se queda el capital para cada año (entorno al 0,3⁴). Es decir, se obtuvieron los resultados esperados si se estuviera dividiendo la inversión en capital físico entre el PIB.

Tabla 1. Evidencia Empírica del Error en la Base de Datos del PWT 9.1.

Año	Y_t (mil. \$-precios nacionales constantes, 2011)	K_t (mil. \$-precios nacionales constantes, 2011)	Y_t/K_t
1995	3844350,500	10184369,000	0,377
1996	4147617,250	11224763,000	0,370
1997	4335791,500	12314962,000	0,352
1998	4433426,000	13579676,000	0,326
1999	4693985,000	14873733,000	0,316
2000	5042128,500	16228874,000	0,311
2001	5437056,000	17759584,000	0,306
...

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PWT.

Como puede observarse en la tabla 1, los resultados obtenidos de dividir el PIB entre el capital físico son los esperados de obtener en la operación inversa ($\alpha = \frac{K_t}{Y_t}$). Además, no tiene ningún sentido que los datos del capital físico sean mayores que los del PIB encontrándose en las mismas unidades e indexados por el mismo valor (miles de dólares y a precios nacionales constantes según 2011).

3.1.2. World Bank

Aún quedan dos variables fundamentales para el modelo, el capital humano (**H_{c,t}**) y la complejidad económica (**C_t**). Ambas variables no han sido obtenidas directamente de una base de datos, sino que han sido construidas a raíz de varios

⁴ “Paul Douglas fue un senador por Illinois entre 1949 y 1966. Cuando todavía era profesor de economía, Douglas descubrió un hecho sorprendente: la división de la renta nacional entre trabajadores y capitalistas permanecía más o menos constante en el tiempo. En particular, descubrió que los trabajadores se quedan con el 70 por ciento de la renta total, mientras que los capitalistas con el 30 por ciento (Salas-i-Martin, 2000).

factores. La construcción de éstas se expondrá más abajo en esta misma sección, pero antes cómo se han extraído los distintos factores que componen ambas variables.

De la base de datos del World Bank se ha obtenido la tasa de matrículas del nivel terciario de la educación en China, siendo esta “ q ”. De esta forma, la variable de capital humano representará un factor de educación tal y como lo hace Mankiw et al. (1992)⁵. Estos datos han sido adquiridos en “Education Statistics:Core Indicators” (World Bank, 2020).

Antes de obtener la variable de complejidad económica es necesario conocer el valor de exportaciones por parte de China. Para ello, se ha obtenido el porcentaje que representan estas sobre el PIB de la base de datos del World Bank (2020). Este porcentaje puede aplicarse a los datos sobre el PIB obtenidos en la PWT, de forma que la variable resultante representaría el valor total de exportaciones de China proporcional a la unidad y el valor indexado del resto de variables obtenidas en la PWT.

$$(52) \quad X_{t(China)} = \%X_{tPIB(WB)} * PIB_{tPWT}$$

3.1.3. Atlas of Economic Complexity

Una vez conseguida la variable de exportaciones, la cual juega un papel fundamental para construir un factor productivo que tenga en cuenta el comercio y la tecnología, es necesario obtener información sobre los productos exportados en relación a la cantidad de conocimiento que implican, es decir, su complejidad o nivel de tecnología.

A lo largo del trabajo se ha hablado sobre el índice de complejidad de la economía (ECI) y sobre el índice de complejidad de los productos (PCI). El primero nos sirve para comparar la complejidad de un país con respecto al resto en un ranking o simplemente observar su evolución a lo largo del tiempo. El ECI es bastante simple de obtener, accediendo directamente a la base de datos del Atlas of Economic

⁵ Para construir el capital humano, Mankiw toma la tasa de matriculación del sector secundario de la educación, a diferencia de este estudio que toma el nivel terciario. Esto se ha decidido así puesto que este nivel representa la parte de la población con formación destinada a un sector laboral más complejo, lo cual encaja mejor con la tesis del estudio.

Complexity en el apartado de proyecciones de crecimiento y clasificaciones de complejidad (The Growth Lab en la Universidad de Harvard, 2019).

En cuanto al segundo índice, el PCI, es el que realmente importa a la hora de construir la variable de complejidad. Para obtener este dato hay que acceder al apartado de “Datos del Comercio Internacional (SA, 92)” en la misma base de datos. Esta sección proporciona una serie de archivos CSV que contienen los flujos comerciales clasificados por años a través del Sistema Armonizado (HS) de 1992. Hemos utilizado los datos del sistema armonizado de 4 dígitos⁶ para construir la base de datos del valor de cada producto exportado junto a su PCI.

Debido a que la base de datos es excesivamente grande y con el fin de tomar los datos más representativos cuando hablamos de complejidad, hemos el dataset filtrado tomando el primer cuartil de productos con mayor PCI. De esta forma se elimina un gran volumen de bienes con un índice de complejidad por debajo de cero (que consideramos “outliers” para el estudio) y puede observarse una clara evolución de los productos tecnológicos en el país.

3.2. Construcción del Capital Humano

Según Salas-i-Martin (2000), el capital humano es el resultado del producto del volumen de trabajadores (L_t) y un índice que mide su calidad (q) tal y como muestra la función (13).

Habiendo obtenido ambos valores, por un lado, los trabajadores de la PWT y por otro, “ q ” representado la tasa de matriculación en el nivel terciario de educación, se procede al cálculo del capital humano.

Realmente ha sido complicado estimar este valor debido a las carencias de las bases de datos en este sector con respecto a China. Al obtener “ q ” faltaban datos de ciertos años (2000 y [2002-2005]). Para resolver este problema se ha llevado a cabo una interpolación de los datos en la serie temporal donde la función resultante para dicho cálculo ha sido la siguiente.

$$(53) \quad q_t = \frac{3,9444t - 7858,1}{100}$$

⁶ El número de dígitos (1, 2, 4 o 6) hace referencia al nivel de detalle que desglosa la clasificación específica de los bienes.

Una vez completados los huecos faltantes, la variable de capital humano está calculada y lista para introducirla en el modelo.

3.3. Construcción de la Complejidad

En un primer instante se trató de incluir el valor total de las exportaciones al modelo. Sin embargo, tras resultados poco determinantes y llegar a la conclusión de que esto no representa un factor productivo, hizo falta replantearse las características que requería la variable que se estaba buscando.

Tras un periodo de investigación tanto en literatura económica como en múltiples intentos frustrados de variables poco significativas, la idea de complejidad económica aportaría luz a esta gran incertidumbre.

Al fin y al cabo, el modelo de Solow presenta una variable denominada como productividad (considerada residual) que reúne, entre otros aspectos, la tecnología. Es decir, el modelo original no plantea una forma de cuantificar la tecnología como un factor productivo más al igual que la inversión en capital físico. Tan solo había que averiguar cómo extraer ese valor para expresarlo como una variable más. Como ya se ha explicado en el apartado de “Complejidad del Comercio” (2.5.2), gracias al concepto de complejidad económica ha sido posible extraer el valor de la tecnología.

De esta forma, el proceso de construcción ha sido el siguiente:

En un primer lugar, tras limpiar la base de datos sobre los productos exportados por año con sus respectivos PCIs, se ha procedido a multiplicar el valor de cada producto en cada año por su PCI (siendo “0” todos aquellos productos con un PCI igual o inferior a 0).

Una vez determinadas las exportaciones complejas se realiza un sumatorio de estas, obteniendo así el valor total de las exportaciones complejas cada año. Teniendo por un lugar el valor total de las exportaciones y por otro el valor de las exportaciones complejas, se puede averiguar el porcentaje que representan estas últimas sobre el valor total de las exportaciones de China. Si este porcentaje lo aplicamos sobre el valor de las exportaciones calculadas con los datos del World Bank sobre los datos de la PWT (explicado en esta misma sección), obtendremos

la variable de complejidad económica en las mismas unidades (miles de dólares) e indexada a precios constantes de 2011 como el resto de factores del modelo.

$$(54) \quad C_t = \frac{[\sum_j (X_{jt} * PCI)] * 100}{\sum_j X_{jt}} * X'_t$$

Donde “j” representa los productos exportados, “ X_t ” el valor de las exportaciones obtenidos en “Atlas of Economic Complexity” y “ X'_t ” el valor de las exportaciones calculado anteriormente según el World Bank y la PWT.

El primer elemento de la ecuación (54) muestra el porcentaje del valor de las exportaciones complejas sobre el total de exportaciones que, multiplicado por el segundo elemento, da resultado a la variable de complejidad económica que incluirá el modelo.

4. Análisis Empírico del Crecimiento de China

En esta sección se van a mostrar los resultados obtenidos tras haber explicado la metodología y la recopilación de los datos necesarios para construir el modelo. Los datos resultantes son coherentes con la tesis planteada a lo largo del trabajo. Los resultados demuestran una relación altamente positiva de la complejidad con el crecimiento de la economía de China y las variables cualitativas de la OMC y la crisis se comportan según lo esperado por el modelo teórico.

Como añadido, también se ha observado una estrecha relación entre dos variables del modelo, el capital humano y la complejidad.

4.1. Contabilidad del Crecimiento

Partiendo de los desarrollos teóricos a partir de Mankiw (1992) y Solow (Sala-i-Martin, 2000), explicados en la sección 2 y en las ecuaciones (7) y (25), podemos hacer un primer ejercicio de contabilidad del crecimiento que nos indique el crecimiento que ha aportado cada factor al PIB pc de China.

4.1.1. Contabilidad con Capital Humano

A la hora de calcular el coeficiente del capital humano (β), se divide dicha variable en el año “t” por el PIB del mismo año, al igual que el proceso de obtener el coeficiente de la inversión en capital físico (α). La tabla (A), en el anexo de tablas, muestra los resultados obtenidos por cada coeficiente.

El coeficiente de la inversión en capital físico (α) muestra unos valores esperados entorno al “0,3”. Este va disminuyendo con los años denotando una menor participación en el crecimiento del PIB por parte de la inversión en capital físico. En cambio, la participación del capital humano muestra sus valores más altos en el periodo comprendido entre el año 2000 y 2008. Este coeficiente (β) toma unos valores comprendidos entre 0,007 y 0,015, mucho menores que los valores de (α).

4.1.2. Contabilidad con Complejidad Económica

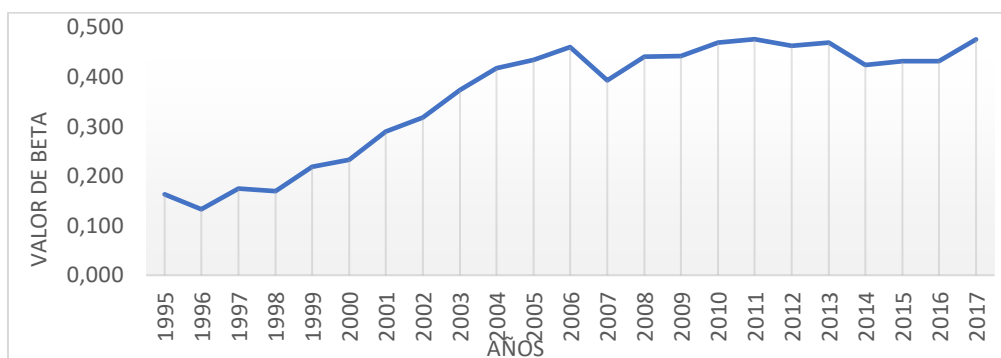
Una vez determinada la metodología aplicada para calcular los coeficientes de la inversión en capital físico y del capital humano, llega la parte novedosa de este estudio donde se calcula la participación de la complejidad económica en el crecimiento del PIB de China. Siguiendo la misma lógica de Mankiw et al. (1992), donde la suma de los coeficientes es menor que “1”, es necesario determinar (β)⁷. Para ello, como se explica en la sección (2.5), la participación de la complejidad económica es igual al resultado de dividir el sumatorio del producto de los productos complejos por sus respectivos PCI’s, entre el total de exportaciones del país.

$$(55) \quad \beta = \frac{\sum_l X_l * PCI}{X_t}$$

Debido al progreso de la tecnología, se espera que este coeficiente aumente con el tiempo. Un crecimiento de “ β ” indica que las exportaciones de productos complejos aumentan con respecto al total de exportaciones. Este resultado se puede observar en la tabla (B) en el anexo de tablas y en el siguiente gráfico (1).

⁷ En el modelo de Solow ampliado con complejidad, la “ β ” es el coeficiente de la complejidad y no del capital humano. El coeficiente de este último es “ μ ”.

Gráfico 1. Progresión del Coeficiente de la Complejidad Económica (β) en el Periodo 1995-2017.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el Atlas of Economic Complexity y el Banco Mundial.

En el gráfico **(1)** se puede observar un gran incremento del coeficiente a raíz de la entrada de China en la OMC en el año 2001.

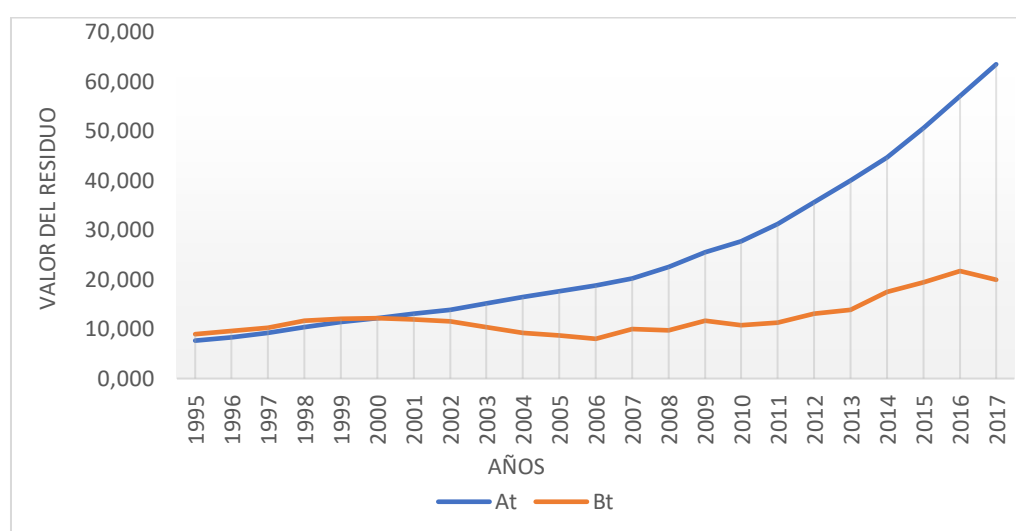
4.1.3. Extracción de la Tecnología del Residuo

En el apartado de “Cálculo del Residuo de Solow”, en la ecuación **(38)**, se explica cómo obtener el valor de la variable de la productividad una vez se han incluido las nuevas variables al modelo.

La variable de complejidad económica pretende extraer el valor tecnológico de la variable residual, por lo que “ B_t ” (la variable residual sin tecnología) debería de ser sustancialmente menor que “ A_t ” (la variable residual inicial). Con esto también se pretende obtener un residuo más limpio que recoja otros factores del crecimiento más allá de los tecnológicos (instituciones, geografía, etc).

Los resultados obtenidos de los distintos residuos se muestran en la tabla **(C)** en el anexo de tablas. En el siguiente gráfico **(2)** puede observarse la evolución de la variable residual (A_t) en el modelo de Solow ampliado por Mankiw et al. (1992) comparado con el residuo (B_t) resultante del modelo de Solow ampliado con complejidad.

Gráfico 2. Evolución del Residuo de Solow en los Distintos Modelos.



Fuente: elaboración propia.

El gráfico (2) muestra una gran reducción de la variable residual una vez el modelo es ampliado con la complejidad. En definitiva, su cumple la premisa de “ $A_t > B_t$ ”, por lo tanto, parece mostrar que se ha extraído el factor tecnológico de “ A_t ” con éxito gracias a la variable de complejidad.

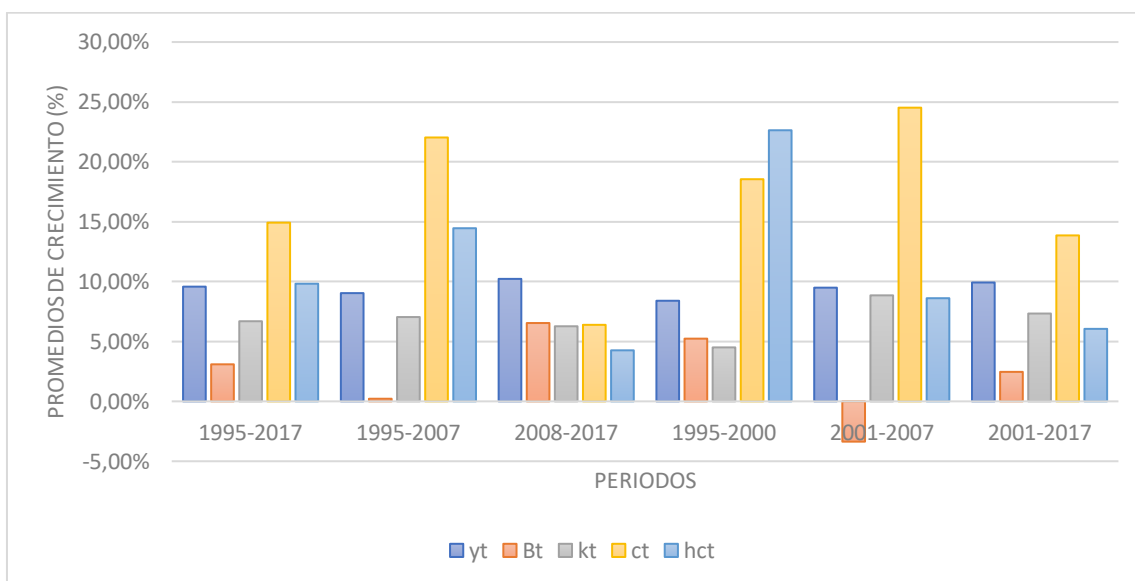
4.1.4. Aporte de Cada Factor al PIB

Siguiendo la ecuación (40) se puede observar el crecimiento de cada uno de los factores productivos de la ecuación con respecto al PIB. Si se toma la ecuación (37), se representan las variables en valores per cápita y realiza un proceso de primeras diferencias, como en la ecuación (39), obtendríamos la ecuación (56). Con esta ecuación (56) puede realizarse una primera aproximación del comportamiento de las distintas variables del modelo en los distintos periodos analizados (antes y después de que China entrara en la OMC, antes y después de la crisis, etc).

$$(56) \quad \Delta \ln y_t = \Delta \ln B_t + \alpha \Delta \ln k_t + \beta \Delta \ln c_t + \mu \Delta \ln hc_t$$

Para llevar a cabo este análisis se realiza el promedio de las tasas de crecimiento, en los años comprendidos de los distintos periodos, de cada una de las variables (en valores per cápita) del modelo. La tabla (D) del anexo de tablas muestra los datos obtenidos en el proceso descrito.

Gráfico 3. Promedio de Crecimiento de las Variables (per-cápita) del Modelo de Solow Ampliado con Complejidad en los Distinto Periodos.



Fuente: elaboración propia.

El gráfico (3) muestra como el periodo de mayor crecimiento de la complejidad económica se encuentra después de la entrada de China en la OMC y antes de la crisis financiera de 2008 con un promedio de un 24,52%. En cambio, una vez comienza la crisis, el crecimiento descende más de diez puntos porcentuales, situándose en un promedio de crecimiento de un 13,85%. En cuanto la inversión en capital físico, esta se mantiene en valores de crecimiento relativamente constantes (entre un 6% y un 8%) en cada uno de los periodos, exceptuando los años previos a la entrada en la OMC, presentando un promedio de un 4,5%. El capital humano presenta una importante disminución en su crecimiento tras la entrada a la OMC. Se observa como en los años posteriores al 2000 decrece, pasando de un promedio de crecimiento de un 22,63%, entre 1995 y 2000, a un 8,61% y un 4,26% entre los años 2001 y 2007 y entre los años 2008 y 2017 respectivamente.

Los periodos en los que el promedio de crecimiento de la complejidad económica es superior, coinciden con aquellos periodos donde el promedio de la variable residual se reduce en gran medida y viceversa. Esta llega incluso a presentar valores negativos en los años posteriores a la entrada en la OMC y anteriores al comienzo de la crisis, indicando un decrecimiento de esta variable.

Por otro lado, llama la atención que el periodo de mayor crecimiento del PIB per cápita sea a partir del año 2008, cuando comienza la crisis, con un promedio de un 10,23%.

4.2. Análisis Econométrico

Este apartado recoge todos los resultados obtenidos tras implementar las ecuaciones resultantes en cada uno de los modelos de Solow propuestos, el modelo de Mankiw et al. (1992), ampliado con capital humano, y el modelo propio de este estudio, ampliado con capital humano y complejidad.

Los resultados corresponden al valor de los coeficientes de cada variable obtenidos gracias al método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Ingresando los modelos como regresiones lineales (siendo de 1995 a 2017 la serie temporal analizada) en el programa Gretl, se lleva a cabo este proceso de MCO, donde además de obtener los coeficientes de cada variable, ayuda a conocer el nivel de significación tanto del modelo global como de cada variable explicativa gracias a los p-valor. Por último, también devuelve el coeficiente de determinación que indica la bondad del ajuste del modelo su fiabilidad.

4.2.1. Modelo de Solow Ampliado por Mankiw

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el modelo de Solow ampliado que plantea Mankiw et al. (1992), donde el modelo se compone tan solo de la inversión en capital físico y el capital humano como variables explicativas.

A partir de la ecuación (21) podemos obtener la especificación econométrica sobre la que aplicaremos MCO. Esta presenta los coeficientes estimados en el desarrollo teórico del modelo mediante las betas, la cuales indicarán el nivel de variación que aporta cada factor a la variable endógena.

En primer lugar, analizaremos sólo la incorporación del capital humano en un modelo que incluya tan sólo el capital físico como otro factor explicativo ($K_t + H_{ct}$). La tabla (2) muestra los resultados obtenidos a partir de la ecuación (57) y la tabla (3) los resultados tras introducir la ecuación (58), resultado de expresar las variables explicativas en tasas de crecimiento, siendo el crecimiento del PIB per cápita la variable endógena.

$$(57) \quad \ln(y_t) - \ln(y_{95}) = \beta_0 \ln(y_{95}) + \beta_1 \ln s_{kt} + \beta_2 \ln s_{hct} - \beta_3 \ln(n + g + \delta) + \varepsilon_t$$

$$(58) \quad \Delta \ln(y_t) = \beta_1 \Delta \ln s_{kt} + \beta_2 \Delta \ln s_{hct} - \beta_3 \Delta \ln(n + g + \delta) + \varepsilon_t$$

Siendo “ ε_t ” el error acumulado por cada uno de los factores que componen la ecuación.

En la ecuación (58) no aparece la constante (representada por el capital per cápita en el año base) debido a que está en función de tasas de crecimiento y esta toma un valor nulo.

Tabla 2. Resultados del Modelo de Solow con Capital Humano.

	Coefficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> acumulación del PIB por trabajador efectivo ($\ln y_t - \ln y(95)$)		
Observaciones	23	
Constante ($\ln y(95)$)	-3,915	**
$\ln Sk_t$	0,686	***
$\ln (n+g+\delta)$	-1,206	***
$\ln Shc_t$	0,141	***
R² ajustado	0,726	
P-valor del modelo	≈ 0	

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

Tabla 3. Resultados del Modelo de Solow con Capital Humano en Tasas de Crecimiento.

	Coefficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> tasa de crecimiento del PIB por trabajador efectivo ($\Delta \ln y_t$)		
Observaciones	22	
$\Delta \ln Sk_t$	0,675	***
$\Delta \ln (n+g+\delta)$	-0,394	*
$\Delta \ln Shc_t$	0,101	***
R² ajustado	0,647	
P-valor del modelo	0,0001	

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

En los resultados que muestra la tabla (2), se puede observar un gran nivel de significación tanto de cada variable como del modelo en general con un p-valor cercano a “0”. Además, se observa un coeficiente de determinación corregido⁸ que nos indica casi un 73% de bondad por parte del modelo hacia la variable independiente.

⁸ Se utiliza el coeficiente de determinación corregido y no el simple ya que el primero tiene en cuenta la inclusión de variables. Puesto que la metodología de este estudio es la ampliación de un modelo ya definido mediante la inclusión de nuevas variables, este coeficiente se ajusta más a su realidad.

En primer lugar, la constante (el nivel de renta por trabajador efectivo de 1995) devuelve un coeficiente negativo, por lo que se ajusta a la teoría de convergencia condicionada. Por otro lado, tanto " Sk_t " como " Shc_t " devuelven coeficientes positivos. Que el coeficiente de " Sk_t " sea de "0,686" indica que un aumento en una unidad de esta variable implica un incremento en la acumulación de capital igual al producto de este coeficiente (0,686) por la variable (aplicando la misma regla al resto de coeficientes y variables).

Por último, como era de esperar, el coeficiente que devuelve el nivel de depreciación es negativo, mostrando los rendimientos decrecientes que defiende el modelo de Solow.

Estos primeros resultados, tan cercanos a lo esperado según las conclusiones de Mankiw et al. (1992), marcan un buen punto de partida para ampliar aún más el modelo con el fin de corroborar la tesis del estudio. Aunque antes de pasar al siguiente apartado, es de interés observar cómo se comporta el modelo en tasas de crecimiento anuales.

En la tabla (3), los resultados de los coeficientes no varían en gran medida con respecto al modelo anterior, a excepción de la tasa de crecimiento de la depreciación, cuyo coeficiente es menos negativo.

4.2.2. Modelo de Solow Ampliado con Complejidad

Una vez verificada la viabilidad del modelo de Solow ampliado por Mankiw et al. (1992), procederemos a estudiar los resultados obtenidos en el modelo ampliado con la variable de complejidad económica ($K_t + C_t + Hc_t$).

En este apartado se van a distinguir dos modelos que siguen el mismo razonamiento que los estudiados en las tablas (2) y (3). A su vez, cada modelo se va a dividir en dos variantes: la primera sin contemplar la inclusión de la OMC y la crisis y la segunda añadiendo estas dos variables⁹.

A partir de la ecuación (47) podemos obtener la especificación econométrica sobre la que aplicaremos MCO en este apartado. La primera ecuación (59), origen de los resultados de la tabla (4), seguiría la misma especificación econométrica que la

⁹ Recordando las ecuaciones (48), (49), (50) y (51).

ecuación (47) expresando los coeficientes mediante las betas. Para obtener los resultados de la tabla (5), la ecuación (59) incluye la interacción con la OMC, para observar el cambio estructural, más la variable de crisis, la cual incluye el efecto económico en el ciclo debido a la Crisis Financiera de 2008.

$$(59) \quad \ln(y_t) - \ln(y_{95}) = \beta_0 \ln(y_{95}) + \beta_1 \ln s_{k_t} + \beta_2 \ln s_{c_t} + \beta_3 \ln s_{hc_t} - \beta_4 \ln(n + g + \delta) + \varepsilon_t$$

$$(60) \quad \ln(y_t) - \ln(y_{95}) = \beta_0 \ln(y_{95}) + \beta_1 \ln s_{k_t} + \beta_2 \ln s_{c_t} + \beta_3 \ln s_{hc_t} - \beta_4 \ln(n + g + \delta) + \beta_5 OMC * \ln s_{k_t} + \beta_6 OMC * \ln s_{c_t} + \beta_7 OMC * \ln s_{hc_t} + \beta_8 Crisis + \varepsilon_t$$

Tabla 4. Resultados del Modelo de Solow Complejo.

	Coeficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> acumulación del PIB por trabajador efectivo ($\ln y_t - \ln y(95)$)		
Observaciones	23	
Constante ($\ln y(95)$)	-28,602	***
$\ln S_{k_t}$	1,186	-
$\ln (n+g+\delta)$	-5,906	***
$\ln S_{c_t}$	0,184	-
$\ln S_{hc_t}$	0,461	*
R ² ajustado	0,92	
P-valor del modelo	≈ 0	

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

Tabla 5. Resultados del Modelo de Solow Complejo más OMC y Crisis.

	Coeficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> acumulación del PIB por trabajador efectivo ($\ln y_t - \ln y(95)$)		
Observaciones	23	
Constante ($\ln y(95)$)	-0,964	-
$\ln S_{k_t}$	0,761	-
$\ln (n+g+\delta)$	-0,746	-
$\ln S_{c_t}$	0,167	-
$\ln S_{hc_t}$	0,128	-
$\ln S_{k_t} * OMC$	-1,340	***
$\ln S_{c_t} * OMC$	0,409	*
$\ln S_{hc_t} * OMC$	0,400	**
Crisis	0,091	*
R ² ajustado	0,988	
P-valor del modelo	≈ 0	

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

La tabla (4) muestra cómo el modelo de nuevo devuelve coeficientes negativos tanto para el nivel de renta por unidad de trabajo efectivo en el año 1995 como para el nivel de depreciación.

Por otro lado, encontramos que, ordenados de mayor a menor coeficiente, “ S_{kt} ”, “ Sh_{ct} ” y “ Sc_t ” muestran coeficientes positivos aportando crecimiento a la acumulación de capital.

En este caso el modelo presenta un coeficiente de determinación corregido superior al anterior modelo. En cuanto al nivel de significación global del modelo, este se encuentra cercano “0”.

En la tabla (5) se observa como el coeficiente de la constante se reduce significativamente pasando de “-28,6” a “-0,96”. Además, el coeficiente de la variable de complejidad económica se sitúa por encima del coeficiente del capital humano.

En cuanto a la OMC, se observa como la aportación a la economía por parte del capital humano y la complejidad económica aumenta una vez China accede a la OMC en 2001. Sin embargo, este aspecto afecta negativamente a la inversión en capital físico. Por otro lado, la crisis devuelve un coeficiente positivo con respecto a la acumulación de capital.

Por último, este modelo devuelve un coeficiente de determinación muy alto (cercano a 1) y un p-valor de “0”.

Finalmente se presentan los datos del último modelo, el cual sigue la misma metodología que los resultados mostrados en la tabla (3), incluyendo las variables en primeras diferencias (tasas de crecimiento). Donde los datos de la tabla (6) corresponde a la ecuación (61) y los datos de la tabla (7) a la ecuación (62).

$$(61) \quad \Delta \ln(y_t) = \beta_1 \Delta \ln s_{kt} + \beta_2 \Delta \ln s_{ct} + \beta_3 \Delta \ln s_{hct} - \beta_4 \Delta \ln(n + g + \delta) + \varepsilon_t$$

$$(62) \quad \Delta \ln(y_t) = \beta_1 \Delta \ln s_{kt} + \beta_2 \Delta \ln s_{ct} + \beta_3 \Delta \ln s_{hct} - \beta_4 \Delta \ln(n + g + \delta) + \beta_5 OMC * \Delta \ln s_{kt} + \beta_6 OMC * \Delta \ln s_{ct} + \beta_7 OMC * \Delta \ln s_{hct} + \Delta \beta_8 Crisis + \varepsilon_t$$

Tabla 6. Resultados del Modelo de Solow Complejo en Tasas de Crecimiento.

	Coeficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> tasa de crecimiento del PIB por trabajador efectivo ($\% \Delta \ln y_t$)		
Observaciones	22	
$\Delta \ln Sk_t$	0,434	-
$\Delta \ln (n+g+\delta)$	-2,750	**
$\Delta \ln Sc_t$	0,475	***
$\Delta \ln Shc_t$	0,055	-
R ² ajustado	0.558	
P-valor del modelo	0.0004	

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

Tabla 7. Resultados del Modelo de Solow Complejo en Tasas de Crecimiento más OMC y Crisis.

	Coeficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> tasa de crecimiento del PIB por trabajador efectivo ($\% \Delta \ln y_t$)		
Observaciones	22	
$\Delta \ln Sk_t$	0,771	-
$\Delta \ln (n+g+\delta)$	-1,774	*
$\Delta \ln Sc_t$	0,188	*
$\Delta \ln Shc_t$	0,111	-
$\Delta \ln Sk_t * OMC$	-0,370	-
$\Delta \ln Sc_t * OMC$	0,588	***
$\Delta \ln Shc_t * OMC$	-0,399	-
Crisis	0,101	***
R ² ajustado	0,862	
P-valor del modelo	≈ 0	

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

El dato que más llama la atención de la tabla (6) es el coeficiente de la tasa de crecimiento de “ Sc_t ” con un valor de “0,475”, incluso superior al coeficiente de la tasa de crecimiento de “ Sk_t ”. Por último, es el modelo que devuelve el coeficiente de determinación más bajo con un valor de “0,558”. El p-valor sigue estando muy por debajo del nivel de significación y el signo de la depreciación sigue siendo negativo como en el resto de las modelos.

En los resultados de la tabla (7) se observa como el coeficiente de la tasa de crecimiento de “ Sc_t ” vuelve a situarse por detrás de la tasa de crecimiento de “ Sk_t ”. Sin embargo, mientras la entrada de China en la OMC afecta negativamente tanto a “ Sk_t ” como a “ Shc_t ”, esta supone un alto coeficiente (0,588) para “ Sc_t ”. Por otro

lado, la crisis sigue mostrando un coeficiente positivo para el crecimiento de la economía de China.

Finalmente, este último modelo presenta, además de un p-valor cercano a “0” un coeficiente de determinación más alto que el modelo que no contempla la presencia de la OMC y la crisis (0,862).

4.2.3. Aportación de la Educación a la Complejidad del Comercio

Tal y como se ha definido el concepto de complejidad, donde la suma de conocimientos es la clave para su evolución, se llega a la conclusión de que podría existir una relación con la educación proporcionada a la población. Por esta razón se ha procedido a analizar la conexión entre la variable de complejidad económica y la de capital humano, puesto que esta última valora la educación de China.

Para ello se han planteado dos escenarios: el primero es una simple función donde la variable dependiente es el valor total de las exportaciones (X_t) en China y las variables que pretenden explicarla son la inversión en capital físico y el capital humano. La segunda trata de una función exactamente igual a diferencia de que la variable endógena es el indicador de complejidad económica (C_t) que hemos montado, es decir, las exportaciones complejas.

En las tablas (8) y (9) se muestran los resultados obtenidos a partir de las ecuaciones (63) y (64) respectivamente.

$$(63) \quad \ln X_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Hc_t + \beta_2 \ln K_t + \varepsilon_t$$

$$(64) \quad \ln C_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Hc_t + \beta_2 \ln K_t + \varepsilon_t$$

Tabla 8. Aportación del Capital Humano a las Exportaciones.

		Coeficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> valor de las exportaciones de China ($\ln X_t$)			
Observaciones	23		
Constante		-3,595	**
$\ln Hc_t$		0,534	***
$\ln K_t$		0,788	***
R ² ajustado	0,964		
P-valor del modelo	≈ 0		

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

Tabla 9. Aportación del Capital Humano a la Complejidad.

		Coeficiente	Nivel de Significación
<u>Variable Dependiente:</u> complejidad económica de China ($\ln C_t$)			
Observaciones	23		
Constante		-10,652	***
$\ln H_{c_t}$		1,251	***
$\ln K_t$		0,589	*
R² ajustado	0,946		
P-valor del modelo	≈ 0		

Fuente: elaboración propia mediante el programa Gretl.

Se observa una gran diferencia entre los coeficientes de ambas tablas. En cuanto a la primera, la tabla (8), el factor que más ha aportado al valor de las exportaciones ha sido la inversión del capital físico, con un coeficiente de 0,788, frente a un valor de 0,534 del capital humano. Sin embargo, en la tabla (9) puede observarse un giro en los resultados. Al ser la complejidad económica la variable dependiente, mientras que el coeficiente de " K_t " se reduce entorno a "0,2" unidades, el coeficiente de " H_{c_t} " aumenta más del doble.

5. Discusión de los Resultados

Tras obtener los resultados, se observa la relación que guardan la complejidad económica con el crecimiento de China y la entrada en la OMC con un impulso significativo del crecimiento de la economía es muy notable.

5.1. Congruencias con el Modelo de Solow Ampliado

El modelo de Solow ampliado por Mankiw et al. (1992) no solo pretende mostrar la contribución positiva de la educación (expresada en el capital humano) al crecimiento de la economía de un país. La ecuación final (21) refleja la presencia de rendimientos decrecientes en los coeficientes de cada variable, obtenidos en las ecuaciones (16.a) y (16.b), indicando que la economía converge a un estado estacionario debido a la presencia de una depreciación. Además, trata de mostrar como el nivel inicial de renta afecta de forma negativa al crecimiento, aludiendo a la condición de convergencia condicionada.

Tras aplicar este modelo a la economía de China, los resultados concuerdan con estas afirmaciones. En primer lugar, se observa que tanto la variable que

representa el nivel de renta inicial ($\ln y(0)$) como la depreciación ($\ln (n+g+\delta)$) devuelven coeficientes negativos, afectando negativamente a la acumulación de capital per cápita.

En cuanto a las variables de inversión en capital físico y capital humano, ambas muestran un aporte positivo tanto a la acumulación de capital per cápita, en la tabla (2), como al crecimiento del PIB per cápita en la tabla (3).

El gráfico (3) muestra como el periodo de mayor crecimiento del capital humano se encuentra antes del año 2000. Esto se debe a que *“a partir de los años noventa China ha entrado en una fase de mejora de la calidad de su capital humano”* (Matute, 2008). Esta dinámica se tradujo en: una mejora de la educación primaria y de la alfabetización de los habitantes. De esta forma la población campesina podría incorporarse al ámbito urbano incrementándose el volumen de población con formación universitaria. Esto fue posible gracias a centros educativos fuera del país mientras China mejoraba la calidad de la educación universitaria interna (Matute, 2008).

El hecho de conseguir incrementar el nivel de formación de la población ayudó a incrementar el sector industrial. Esta formación básica se tradujo en una mejora de la inversión en capital físico. Aquellas personas con un mínimo de formación podrían migrar del trabajo agrícola a la construcción en zonas urbanas.

En cuanto a la mejora de la formación universitaria, implicando un conocimiento más complejo, permitiría desarrollar un comercio de productos más tecnológicos. Este último aspecto se refleja en los resultados obtenidos al analizar la relación existente entre la complejidad económica y el capital humano.

5.2. Complejidad como Principal Factor de Crecimiento

A la hora de estudiar la complejidad económica en el modelo de Solow, los resultados obtenidos revelan información interesante en línea con la tesis del trabajo. En la tabla (4), donde se analiza la acumulación de capital per cápita en función de las variables del modelo, se observa que la variable de complejidad económica presenta un coeficiente demasiado bajo como para que constituya un factor de gran relevancia para la economía de China. Sin embargo, a la hora de estudiar el crecimiento del PIB per cápita en la tabla (6), este coeficiente se dispara

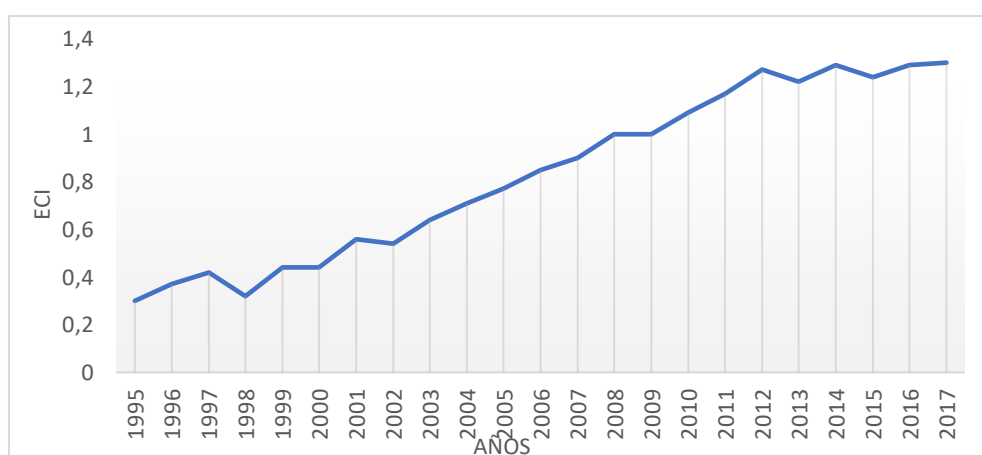
posicionándose por encima incluso de la inversión en capital físico. Esto indica que el crecimiento del PIB per cápita viene principalmente explicado por el crecimiento de las exportaciones de productos complejos y no tanto por la acumulación de capital per cápita.

En cuanto a los resultados del capital humano, estos se mantienen en valores próximos entre sí en cada modelo.

Si se accede a la base de datos de la OEC (Observatory of Economic Complexity) (2020) se puede observar cómo ha evolucionado la cesta de productos exportados por parte de China. En 1995 los productos que más se exportaban eran materiales textiles y sus manufacturas, seguidos de máquinas y aparatos eléctricos y audiovisuales con un 23% y un 22% respectivamente. Por otro lado, mercancías y productos diversos, calzados y metales representaban un 9,5%, 8,5% y 7,2% de los productos exportados respectivamente. En 2017, las máquinas y aparatos eléctricos y audiovisuales presentaban un 49% de las exportaciones y los materiales textiles y sus manufacturas habían quedado relegados a un 9,9% del volumen total. Esto muestra claramente como las exportaciones de productos complejos ha aumentado significativamente desde 1995.

Si se estudia la evolución del índice de complejidad económica (ECI), también se puede observar cómo ha evolucionado China en los últimos años.

Gráfico 4. Evolución del ECI de China.



Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el Atlas of Economic Complexity.

El gráfico (4) muestra como a partir del 2000 la complejidad económica de China comienza a crecer significativamente, partiendo del puesto 83 en 1995 y llegando

al 32 en 2017 en el ranking de complejidad económica de países según el sistema armonizado.

5.2.1. Entrada en la OMC y la Aparición de la Crisis Financiera de 2008

Como se ha indicado anteriormente, uno de los principales hitos de China en el periodo analizado ha sido abrirse al comercio exterior. Este proceso comienza con la ley del Banco Popular China (PBC) en 1995 otorgando independencia a los tres bancos políticos¹⁰ más grandes (Stanley, 2013).

China comienza a flexibilizar su cuenta de capital y a progresar en sus relaciones económicas en el sudeste de Asia con el objetivo de la internacionalización del remimbi¹¹. A raíz de esto, la primera medida que toma es ingresar en la OMC en el año 2001, posibilitando de esta manera el acceso a nuevos mercados y una reducción de los aranceles.

Como ya se ha explicado al final de la sección 2, la entrada en la OMC condujo a una creación de relaciones permanentes con Estados Unidos. De esta forma, los aranceles de exportaciones se redujeron abaratando los precios de importación de China en Estados Unidos (principal destino de exportaciones de China). Esta situación supuso que las exportaciones de China a Estados Unidos se multiplicaran por cuatro (Amiti et al, 2017).

En el gráfico **(3)** se observa como el periodo de mayor crecimiento de la complejidad económica se encuentra justo después de que China entrara en la OMC y antes de que comenzara la crisis de 2008. Analizando las tablas **(5)** y **(7)**, los coeficientes que corresponden a la complejidad económica tras la entrada en la OMC presentan valores altísimos. Esto corrobora la premisa de que la entrada en la OMC aporta una gran ventaja al desarrollo del comercio exterior traduciéndose en un gran aporte al crecimiento del PIB per cápita.

Debido al gran desarrollo que percibe la variable de complejidad económica y que China se centra más en el comercio exterior, la inversión en capital físico no experimenta un gran impulso tras la entrada en la OMC, mostrando un coeficiente

¹⁰ Banco de Desarrollo de China (CDB), Banco de Exportaciones e Importaciones de China (EIBC) y Banco de Desarrollo Agrícola de China (ABDC).

¹¹ Moneda oficial de la República Popular China, siendo el yuan su unidad básica.

negativo junto al capital humano. Esto no quiere decir que ambas variables decrecieran, sino que su crecimiento con respecto a la acumulación de capital per cápita y al crecimiento del PIB per cápita no fue suficiente ni significativo como lo fue el crecimiento de la complejidad económica.

Cuando se analiza el resultado que devuelve la crisis de 2008, llama la atención que su coeficiente sea positivo. Lo lógico es pensar que una economía va a ser perjudicada por una crisis financiera. Sin embargo, China llevó a cabo una serie de políticas que amortiguaron el impacto negativo de la crisis en la economía.

A raíz de la crisis, China reorienta su economía dejando en un segundo plano al comercio exterior y fortaleciendo el mercado interno. Como se menciona al final de la sección 2, una de las medidas fue un paquete de inversiones que concentraba los gastos fiscales en la creación de infraestructuras traduciéndose en una mejora de la inversión en capital físico (Dussel Peters, 2013).

La mejora en la inversión en capital físico fue superior a la pérdida en el comercio de productos complejos, por ello el coeficiente que muestra esta variable es positivo, aunque con un valor muy pequeño.

5.3. Educación y Tecnología

Las tablas (8) y (9) devuelven unos resultados muy paralelos a lo explicado en el primer apartado de esta sección. La educación más avanzada (universitaria) juega un papel fundamental a la hora de producir productos más complejos.

El coeficiente del capital humano con respecto al valor de las exportaciones es alto, aunque no tanto como la inversión en capital físico. Esto es, las infraestructuras son necesarias para producir para así vender al exterior y un mínimo de educación es necesaria para que la población tenga la capacidad de construir. Sin embargo, es necesario recordar que la variable de capital humano está constituida por la tasa de matriculación en el nivel terciario de la educación, representando uno de los niveles más altos de esta. Cuanta mayor educación, mayor y más complejo es el conocimiento que adquiere la población. Cuanto más conocimiento, mayor cantidad de productos complejos. Esto se traduce en el coeficiente del capital humano cuando explica la variable de complejidad. El valor aumenta un 230%, con respecto al valor de las exportaciones, explicando la complejidad económica.

Podría decirse que el impulso que experimenta la complejidad económica al comienzo del milenio no solo se debe a la entrada en la OMC, sino que el crecimiento del capital humano durante el periodo anterior (1995-2000) juega un papel de gran importancia para el desarrollo de un comercio más complejo.

5.4. Complejidad como Fuente de Crecimiento en el Largo Plazo

Tras analizar la evolución de la economía de China a lo largo del periodo estudiado (1995-2017), destacan dos fases. La primera es caracterizada por el extraordinario crecimiento de la economía gracias a la entrada en la OMC. La segunda fase, a raíz de la crisis financiera, muestra una senda de desaceleración de la economía acompañada por un creciente endeudamiento¹².

Este punto de inflexión coincide cuando China decide aumentar la inversión en capital físico y dejar a un segundo plano la exportación de productos tecnológicos. Del mismo modo, el periodo de menor crecimiento de la inversión en capital humano coincide con esta desaceleración.

Entendiendo el modelo de Solow, esta desaceleración podría significar el acercamiento al estado estacionario de la economía de China. Sin embargo, el modelo predice que, si la productividad o variable residual no fuera considerada una constante, el estado estacionario de la economía se desplazaría hacia la derecha permitiendo un crecimiento a largo plazo.

“Según la ecuación fundamental de Solow-Swan, un aumento del parámetro tecnológico, A , hace saltar la curva de ahorro hacia la derecha.” (Sala-i-Martin, 2000)

Este estudio extrae el valor tecnológico de esta variable y lo trata como un factor productivo más, el cual no es constante. De esta forma, podría llegarse a la conclusión de que la complejidad económica actúa sobre la economía de China desplazando su estado estacionario. Si a esto se le suma la *hipótesis de convergencia*, un país que presenta una renta per cápita inicial más baja que los países ricos y con un plan económico que se centra en la tecnología, presentaría

¹² Presentando un 29% de deuda sobre el PIB en 2007, a un 46,8% en 2017 (Statista, 2020)

no sólo un ritmo de crecimiento superior, sino también una senda de desarrollo a largo plazo cuyo límite lo marcaría el progreso tecnológico.

El hecho de que la desaceleración de la economía de China se produzca justo después de que esta deje en un segundo plano a la complejidad, lleva a este estudio a recomendar políticas dirigidas a fomentar el comercio con productos cada vez más complejos. La inversión en educación y en I+D es imprescindible para fomentar un entorno de progreso tecnológico. Un ejemplo de estas medidas sería fomentar las colaboraciones público-privadas entre empresas, universidades y el Sector Público. Otras medidas podrían ir dirigidas a la inversión en capital físico, como la creación de una red de infraestructuras que facilitasen el comercio. El objetivo sería continuar desplazando a un mayor largo plazo el estado estacionario de la economía china.

De la misma manera, a pesar de que los tipos de interés hayan descendido desde 2014 de un 4,77% a un 0,448% en 2017 (Banco Mundial, 2020) y que China aun presente una gran cantidad de inversores que apuesten por ella, debería llevar a cabo políticas que minimizaran el riesgo del sistema financiero y así frenar el crecimiento de la deuda pública.

6. Conclusión

El objetivo principal de este trabajo ha sido analizar el cambio en la estructura económica de China tras su entrada en la OMC, así como encontrar los factores que más han contribuido a su crecimiento. Para ello, hemos seguido la línea de estudio de Mankiw et al. (1992) con el fin de ampliar el modelo de Solow con el capital humano y la complejidad económica.

Los resultados obtenidos denotan un gran impulso de la complejidad económica en la economía china a raíz de su entrada en la OMC que, tras la Crisis Financiera de 2008, experimenta un decaimiento. En cuanto a la relación entre el capital humano y la complejidad económica, los resultados muestran cómo el desarrollo de los productos complejos no solo se debe a la entrada de China en la OMC, sino que la inversión en educación en los años previos al comienzo del milenio propició un escenario fértil para el crecimiento de la tecnología.

Si bien los resultados abogan por cómo la entrada de China en la OMC propició su comercio exterior, gracias a este estudio, destaca el hecho de que no es el volumen de exportaciones lo que permitió su gran desarrollo económico, sino la complejidad de estas, es decir, el desarrollo tecnológico que presentaban los productos exportados.

A diferencia de Mankiw et al. (1992), este trabajo únicamente aplica el modelo desarrollado a la economía de China. Una posible línea de investigación sería corroborar si es cierto que dotar de mayor nivel de tecnología a la cesta de exportaciones de los países, propicia el crecimiento económico de los mismos. Para ello, podría aplicarse la metodología planteada en este estudio a una muestra más amplia de países. Con ello podría añadirse una razón más para invertir en educación en países en vías de desarrollo como fuente de ingreso a largo plazo.

Como breve reflexión, el crecimiento de China podría simplificarse en dos aspectos. El primero ha sido el apoyo internacional recibido gracias a su entrada en la OMC y el segundo ha sido el apoyo por parte del país a su población gracias a la inversión en educación. Esto nos lleva a pensar que el progreso se encuentra en la colaboración y no en el deseo de acumular riqueza.

7. Bibliografía

Amiti, M., Mi Day, Feenstra, R. C. y Romalis, J. (2017). "How Did China's WTO Entry Affect U.S. Prices?", *Federal Reserve Bank of New York Staff Reports*, no. 817.

Atlas of Economic Complexity. (2019), *International Trade Data (SITC, Rev. 2)* [Base de datos]. Recuperado de: <https://doi.org/10.7910/DVN/H8SFD2>

Banco Mundial (2020), *World Bank Open Data, Education Statistics:Core Indicators, China* [Base de datos]. Recuperado de: <https://datos.bancomundial.org/pais/china>

Barro, Robert J., (1989). "Economic Growth in a Cross Section of Countries", *Documento de trabajo NBER* No. w3120.

Dussel Peters, E. (2008). "La Economía China desde la Crisis Internacional en 2008: estrategias, políticas y tendencias", *Journal of Economic Literature*.

Einzig, P. (1964). "Fines y medios de la política monetaria", En P. Einzig, "Los fines de la política monetaria". *Barcelona: Seix Barral*, (págs. 53 - 125).

G. Velarde (2018). "China supera a Estados Unidos como principal motor de la economía mundial". *El Economista*. Consultado el 4-6-2020 en : <https://www.eleconomista.es/economia/noticias/9304231/07/18/China-supera-a-Estados-Unidos-como-principal-motor-de-la-economia-mundial.html>

Hausmann, R., Hidalgo, C. A., Bustos, S., Coscia, M., Chung, S., Jimenez, J., Simoes, A., Yildirim, M. A. (2013). "The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity". *Massachusetts Institute of Technology and Center for International Development, Harvard University*. Edited by Ricardo Hausmann and César A.Hidalgo. ISBN 978-0-262-52542-8 (pbk. : alk. paper).

Lebrón Veiga, A. J. (2012). "Economía China: pasado, presente y futuro". *2do Simposio Electrónico Internacional Sobre Política China*.

Mankiw, N. G., Romer, D., y Weil, D. N. (1992). "A Contribution to the Empirics of Economic Growth". *The Quarterly Journal of Economics*, Vol. 107, No. 2., pp. 407-437.

Penn World Table version 9.1. (2015). *Feenstra, Robert C., Robert Inklaar y Marcel P. Timmer, "The Next Generation of the Penn World Table" American Economic Review, 105 (10), 3150-3182* [Base de datos]. Recuperado de: www.ggdgc.net/pwt

Rodrick, D. (2006). "Whats's so Special about China's Exports?" *NBER Working Paper No. 11947*.

Sala-i-Martin, X. (2000). "Apuntes de Crecimiento Económico". *Barcelona, Editorial Antoni Bosh, 2ª Edición*.

Stanley, L. (2013). "El proceso de internacionalización del RMB y el nuevo protagonismo del sistema financiero chino". En E. Dussel, "América Latina y El Caribe - China Economía, Comercio e Inversiones". *México D.F: Unión de Universidades de América Latina y el Caribe*. (págs. 147 - 167).

Statista (2020), *Deuda pública bruta como porcentaje del PIB en economías emergentes de 2001 a 2019* [base de datos]. Recuperado de: <https://www.statista.com/statistics/1034422/gross-government-debt-share-gdp-emerging-economies/>

The Observatory of Economic Complexity (2020), *Comercio de Productos de China* [base de datos]. Recuperado de: <https://oec.world/es/profile/country/chn/>

8. Anexo

8.1. Apéndice Matemático

8.1.1. Diferencial de las ecuaciones (18) y (46)

$$\frac{d \ln(y(t))}{dt} = \lambda [\ln(y^*) - \ln(y(t))]$$

$$\frac{d \ln(y(t))}{dt} = \frac{y'(t)}{y(t)}$$

$$\frac{y'(t)}{[\ln(y^*) - \ln(y(t))]y(t)} = \lambda dt$$

$$\int_0^t \frac{y'(t)}{[\ln(y^*) - \ln(y(t))]y(t)} = \int_0^t \lambda dt$$

$$[-\ln(\ln(y^*) - \ln(y(t)))]_0^t = [\lambda t]_0^t$$

$$\ln[\ln(y^*) - \ln(y(t))] - \ln[\ln(y^*) - \ln(y(0))] = -\lambda t$$

$$\ln \left[\frac{[\ln(y^*) - \ln(y(t))]}{[\ln(y^*) - \ln(y(0))]} \right] = -\lambda t ; \frac{[\ln(y^*) - \ln(y(t))]}{[\ln(y^*) - \ln(y(0))]} = e^{-\lambda t}$$

$$\ln(y^*) - \ln(y(t)) = [\ln(y^*) - \ln(y(0))]e^{-\lambda t}$$

8.2. Apéndice de Tablas

Tabla A. Valor de los Coeficientes α y β de las Variables de Inversión en Capital Físico y Capital Humano en el Periodo 1995-2017.

Año	α	β
1995	0,377	0,007
1996	0,370	0,009
1997	0,352	0,010
1998	0,326	0,012
1999	0,316	0,013
2000	0,311	0,014
2001	0,306	0,015
2002	0,305	0,015
2003	0,297	0,015
2004	0,294	0,015
2005	0,295	0,014
2006	0,297	0,013
2007	0,297	0,013
2008	0,287	0,013
2009	0,277	0,013
2010	0,277	0,012
2011	0,267	0,012
2012	0,252	0,011
2013	0,243	0,011
2014	0,234	0,011
2015	0,220	0,009
2016	0,209	0,008
2017	0,200	0,007

Fuente: elaboración propia a partir de los datos del PWT.

Tabla B. Valor del Coeficiente β de las Variables de Complejidad en el Periodo 1995-2017.

Año	β
1995	0,163
1996	0,133
1997	0,174
1998	0,170
1999	0,219
2000	0,233
2001	0,289
2002	0,318
2003	0,373
2004	0,417
2005	0,434
2006	0,461
2007	0,394
2008	0,441
2009	0,442
2010	0,469

2011	0,476
2012	0,463
2013	0,470
2014	0,423
2015	0,431
2016	0,432
2017	0,476

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el Atlas of Economic Complexity y el Banco Mundial.

Tabla C. Evolución del Residuo de Solow en los Distintos Modelos.

Año	At	Bt
1995	7,658	8,938
1996	8,274	9,575
1997	9,159	10,228
1998	10,433	11,619
1999	11,376	12,103
2000	12,178	12,160
2001	13,057	11,995
2002	13,901	11,526
2003	15,239	10,360
2004	16,492	9,232
2005	17,640	8,741
2006	18,800	8,026
2007	20,216	10,058
2008	22,517	9,687
2009	25,472	11,743
2010	27,686	10,838
2011	31,198	11,276
2012	35,675	13,041
2013	39,998	13,858
2014	44,707	17,524
2015	50,678	19,419
2016	57,082	21,723
2017	63,507	19,998

Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en el Atlas of Economic Complexity, el Banco Mundial y la PWT.

Tabla D. Promedio de Crecimiento de las Variables del Modelo de Solow Ampliado con Complejidad en los Distinto Periodos.

	Años	Y_t	B_t	K_t	C_t	Hc_t
<i>Periodo completo</i>	1995-2017	9,58%	3,09%	6,69%	14,92%	9,82%
<i>Periodo pre-crisis</i>	1995-2007	9,04%	0,22%	7,04%	22,03%	14,46%
<i>Periodo post-crisis</i>	2008-2017	10,23%	6,54%	6,27%	6,39%	4,26%
<i>Periodo pre-entrada en la OMC</i>	1995-2000	8,40%	5,24%	4,50%	18,55%	22,63%
<i>Periodo post-entrada en la OMC; pre-crisis</i>	2001-2007	9,49%	-3,36%	8,85%	24,52%	8,61%
<i>Periodo post-entrada en la OMC; post-crisis</i>	2001-2017	9,92%	2,46%	7,33%	13,85%	6,05%

Fuente: elaboración propia.